

Veera Innanen

# Korkeapaineprosessoinnin (HPP) käyttö kauratuotteiden valmistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja Elintarviketekniikka

Insinöörityö

29.03.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Veera Innanen Korkeapaineprosessoinnin (HPP) käyttö kauratuotteiden valmistuksessa 37 sivua 29.3.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elintarviketekniikka
Ohjaajat	Lehtori Mikko Halsas Tuotekehityspäällikkö, Outi Mäkelä, Gold & Green Foods Ltd
<p>Tässä työssä tarkasteltiin korkeapaineprosessoinnin hyötyjä kauratuotteiden prosessoinnissa. Työn tarkoituksena oli selvittää, miten asiakasyritys voisi hyötyä korkeapainetekniikan käytöstä tuotteissaan ja minkälaisia rakenteellisia, aistittavia sekä mikrobiologisia muutoksia kaurapohjaisissa tuotteissa tapahtuu käsittelyn aikana.</p> <p>Korkeapaineprosessoinnissa (HPP) tyypillinen paine on noin 300–1 000 MPa (3 000–10 000 bar). Laitteet koostuvat yleensä painetankista ja painetta tuottavasta laitteesta. Tuotteet pakataan joustaviin pakkauksiin ennen prosessointia, sillä painetankissa väliaineena toimii neste, usein vesi. Tuotteiden tulee olla riittävän kosteita (vähintään 30–40 % kosteutta), jotta käsittely vaikuttaa niihin.</p> <p>Tyypillisiä kauratuotteille tapahtuvia muutoksia ovat proteiinin ja tärkkelyksen rakenteelliset muutokset, kuten proteiinien hyytyminen eli koaguloituminen, denaturoituminen ja tärkkelyksen turpoaminen ja gelatinoituminen. Käsittely aiheuttaa myös entsyymien inaktivoitumista ja mikrobien tuhoutumista. Paineen ja lämmön yhdistelmällä saadaan aikaan myös tuotteen steriloituminen. Vaihtelemalla käsittelyolosuhteita tekniikalla on mahdollista aikaansaada tuotteita, joiden pilaajamikrobit on saatu tuhottua, mutta rakenteelliset muutokset ovat vähäisiä. Pienimmillä paineilla ei tunnetusti ole suurta vaikutusta väreihin, makuihin, aromeihin tai vitamiineihin.</p> <p>Tämän hetken tutkimustiedon pohjalta merkittävin käyttökohde korkeapaineprosessoinnille on mikrobien inaktivointi. Tekniikan vaikutukset rakenteisiin ovat verrattain pienet, jolloin suurin hyöty on siinä, että tuotteiden säilyvyyttä pystytään parantamaan muihin ominaisuuksiin vaikuttamatta.</p> <p>Tämän työn perusteella näytti ilmeiseltä, että rakenteelliset ja aistittavat muutokset jäisivät liian vähäisiksi, joten asiakasyritys päätyi siirtämään kokeet myöhempään ajankohtaan, mikäli mahdollisia käyttökohteita HPP:lle ilmenee.</p>	
Avainsanat	korkeapaineprosessointi, HPP-tekniikka, kaura, kauratuotteet, rakenteelliset muutokset

Author Title Number of Pages Date	Veera Innanen Use of High pressure processing (HPP) at manufacturing of oat products 37 pages 29.3.2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Specialisation option	Food Engineering
Instructors	Mikko Halsas, Senior Lecturer Outi Mäkelä, Development Manager, Gold & Green Foods Ltd
<p>The purpose of this thesis was to study the benefits of high pressure processing for the processing of oat products. The aim of the thesis was to find out how the client company could benefit from the use of high pressure technology in their products and what kind of structural, sensory and microbiological changes in oat-based products occur during processing.</p> <p>In high pressure processing (HPP), the typical pressure is about 300–1000 MPa (3 000 to 10 000 bar). The equipment usually consists of a pressure tank and a pressure generating device. Products are packaged in flexible packages before processing, since the tank is used with a liquid medium, which is often water. The products must be sufficiently moist (at least 30 – 40 %) to be affected by the treatment.</p> <p>Typical changes to oat products include structural changes in protein and starch, such as protein clotting, coagulation, denaturation, and starch swelling and gelatinization. Treatment also causes inactivation of enzymes and destruction of microbes. The combination of pressure and heat also provides sterilization of the product. By varying processing conditions, it is possible to produce products where the spoil microbicides have been destroyed, but structural changes are minor. Using the smallest pressures has no known effects on colors, tastes, aromas or vitamins.</p> <p>On the basis of current research data, the most important use of high pressure processing is inactivation of microbes. The effects of the technology on the structures are relatively small, and the greatest benefit is that it is possible to improve the shelf life of products without affecting other properties.</p> <p>The structural and sensorial changes that were achieved through this thesis were too small to carry out experimental research, so the client company decided to move the tests to a later date if possible uses for HPP are found.</p>	
Keywords	high pressure processing, HPP-technology, oat, oat products, structural changes

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kaura	4
2.1	Proteiini	4
2.2	Tärkkelys	6
2.3	Lipidit	8
2.4	Beetaglukaani ( $\beta$ -glukaani)	9
3	HPP-käsittelyn vaikutukset	10
3.1	Proteiinit ja entsyymit	11
3.2	Rasvat	17
3.3	Hiilihydraatit	18
3.3.1	Differentilaalinen pyyhkäisykalorimetritesti (DSC)	18
3.3.2	Reologiset tutkimukset	20
3.4	Aromit, värit ja vitamiinit	23
3.5	Mikrobit	24
3.6	Bakteerien itiöt	25
4	Käyttö	26
4.1	HPP-prosessi	26
4.2	Historia	29
4.3	Valmistajat	31
4.3.1	Hiperbaric tuoteperhe	31
4.3.2	Multivac tuoteperhe	32
4.4	Pakkaaminen	33
4.5	Haasteet	33
4.6	Hyödyt	34
	Lähteet	36

## Lyhenteet

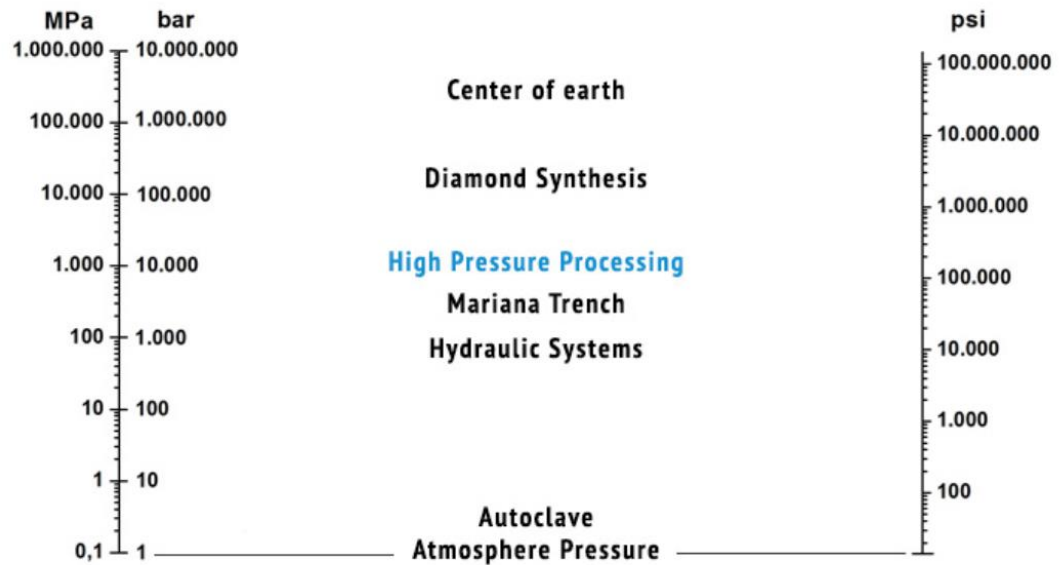
AS	Amplitudipyyhkäisymittaus, reologinen mittaus.
ATP	Adenosiinitrifosfaatti. Energian varastointimolekyyli.
DSC	Differential scanning calorimetry. Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetri.
HHP	High Hydrostatic Pressure. Elintarvikkeiden korkeapaineprosessointimenetelmä. Termillä HPP ja UHP sama merkitys.
HPP	High Pressure Processing. Elintarvikkeiden korkeapaineprosessointimenetelmä.
LVE	Lineaarinen viskoelastinen alue.
PATS	Pressure-assisted thermal sterilization. Paineen ja lämmön yhteisvaikutuksella aikaansaatua sterilisaatio.
PEF	Pulsed electric fields. Sähköön perustuva pörsäntömenetelmä.
PPO	Tyrosinaasi. Kasvissa ja hedelmissä haitallista ruskettumista aiheuttava polyfenolioksidaasi.
SDS-page	Natriumdodekyylisulfaattipolyakryylamidigeelielektroforeesi. Proteiinien erotteluteknikka elektroforeettisen liikkuvuuden mukaan.
UHP	Ultra High Pressure. Elintarvikkeiden korkeapaineprosessointimenetelmä. Termillä HPP ja HHP sama merkitys

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä selvitetään korkeapaineprosessoinnin (HPP, High Pressure Processing) vaikutuksia kauramateriaalin rakenteellisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin, sekä menetelmän käyttömahdollisuuksia kauratuotteiden valmistuksessa. Työ tehdään yritykselle *Gold & Green Foods Ltd Oy*, joka valmistaa Suomessa kaurapohjaisia tuotteita.

Kuluttajat kokevat elintarvikkeiden pitkällisen prosessoinnin epäterveellisenä ja etsivät yhä luonnollisempia ratkaisuja ruokavalioon. Toisaalta kiireellinen elämäntapa näkyy ateriavalinnoissa; ruoan tulisi säilyä pitkään ja olla nopeasti saatavilla. Uusien teknologioiden toivotaan tuovan helpotusta tilanteeseen. Uutena nousevana trendinä on tuotteiden korkeapaineprosessointi, joka parantaa säilyvyyttä ja muokkaa tuotteita hellävaraisesti.

Tyypillinen paine korkeapaineprosessoinnissa on noin 300–1 000 MPa (3 000–10 000 bar). Yhtä suuria paineita on havaittu maapallolla luontaisesti vain syvimpien merien pohjasta, esimerkiksi Mariaanien haudassa 10 km syvyydessä paine on noin 1 100 bar. Kuvassa 1 on verrattu HPP–tekniikassa käytettävää painetta muihin tunnettuihin paineisiin. (Hiperbaric.) Käsittelylämpötila vaihtelee tuotteesta ja halutuista muutoksista riippuen, mutta ideana on prosessoida ruokaa korkean paineen avulla huoneen lämpötilassa, ei korkeaa lämpötilaa käyttäen. Korkeapaineprosessointia HPP kutsutaan myös termillä UHP – Ultra High Pressure tai HHP – High Hydrostatic Pressure, sillä laitteessa prosessointi perustuu hydrostaattiseen paineeseen ja Pascalin lakiin (Volk 2009: 18–19). Tuotteet asetetaan säiliöön, joka täytetään väliaineella, useimmiten vedellä, ja paine nostetaan halutulle tasolle halutuksi ajaksi.



Kuva 1. HPP-prosessoinnissa käytettävä paine on korkeampi kuin Mariaanien haudassa (Hiperbaric).

Tällä hetkellä HPP-tekniikkaa hyödynnetään pääsääntöisesti kylmäpastörintimenetelmänä, jossa korkeassa paineessa elintarvikkeen mikrobien solurakenne hajotetaan, niin että mikrobit tuhoutuvat ja pilaantuminen hidastuu. HPP tekniikan etuina lämpöpastörintiin verrattuna on sen vähäiset vaikutukset tuotteeseen; sen vaikutukset vitamiinien toimintaan, sekä makuun ja väriin ovat pienempiä kuin muilla tunnetuilla prosessointimenetelmillä. Elintarvikkeen ominaisuudet saattavat muuttua kuumennuksen aikana ei-toivotuiksi, jolloin pastörinti tai muu kuumakäsittely ei ole mahdollista ilman tuotteen laadun kärsimistä. Alhaisella paineella (200–300 bar) pystytään välttämään rakenteellisia muutoksia ja aikaansaamaan mikrobien tuhoutuminen. Esimerkiksi hedelmien rakenne muuttuu kuumennuksen aikana, mutta korkeapaineprosessoinnilla mikrobit saadaan tuhattua rakenteen kärsimättä. HPP-tekniikka mahdollistaa lisäaineiden käytön vähentämisen ja pidemmän säilyvyysajan, mikrobien tuhoamisvaikutuksen ansiosta. HPP on myös energiatehokkaampaa ja ympäristöhaitat ovat pienemmät kuin kuumennuksella. (Kaitaranta 2014.)

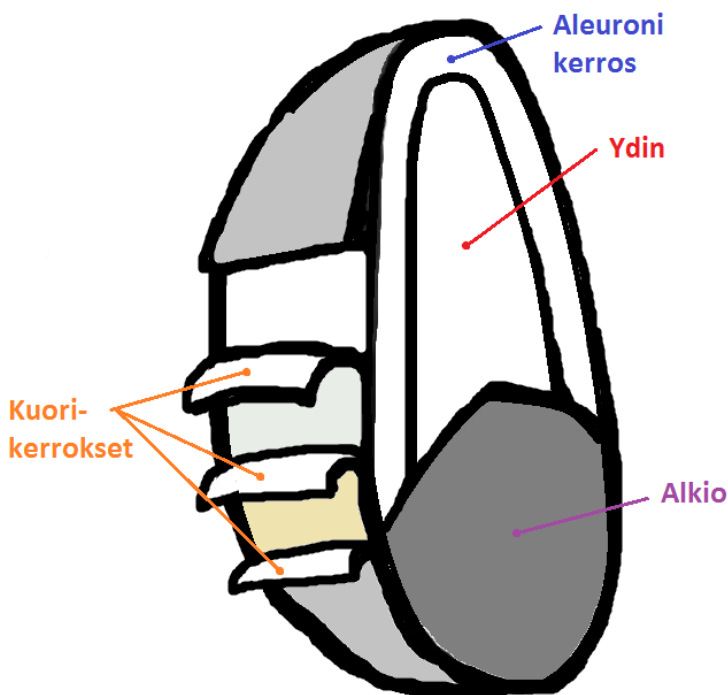
HPP-tekniikkaa käytetään myös rakenteellisten sekä aistittavien ominaisuuksien muokkaamiseen. Paineen avulla voidaan aikaansaada esimerkiksi proteiinien denaturoituminen, entsyymien inaktivoituminen tai tärkkelyksen gelatinoituminen. (Volk 2009.)

HPP:llä käsitellessä tuotteen tulee olla pakattu joustavaan pakkaukseen, jotta se ei rikkoudu paineen vaihtelun takia. Lisäksi tuotteen tulee olla riittävän kosteaa; kuivat tuotteet eivät jousta samalla tavalla kuin kosteat, minkä takia paine ei pääse muokkaamaan rakennetta. Alhaisimmat kosteuspitoisuudet HPP-käsitellyille tuotteille ovat olleet 30–40 % luokkaa. Tuotteen käsittelyyn vaikuttaa myös sen homogeenisuus; mikäli tuote sisältää kuivia kohtia tai neste ei ole levittynyt tasaisesti, käsittelyn vaikutukset voivat muuttua. (Kaitaranta 2016; Johansson 2017.)



## 2 Kaura

Kauranjyvää ympäröi kuorikerros, joka poistetaan ennen jatkokäsittelyä. Kauranjyvä koostuu kuorikerroksesta, jauhoytimestä, alkioista ja leseestä (Kuva 2.). Kaura useimmiten kulutetaan kokonaisina kaurahiutaleina. (Grundy ym. 2017: 378–388.)



Kuva 2. Kauranjyvän rakenne.

Lese muodostuu karkeasta kuitupäällisestä, jota on vaikea irrottaa ytimestä. Lese sisältää aleuroni-, siemenkuori- ja hedelmäseinäkerrokset, joissa on runsaasti proteiineja, lipidejä, mineraaleja, vitamiineja sekä soluseinän polysakkarideja, kuten betaglukaania. Ydin sisältää paljon tärkkelystä, ja alkio on tärkeä proteiinien ja rasvan lähde. (Grundy ym. 2017: 378–388.)

Kaura poikkeaa muista kotimaisista viljoista (vehnä, ohra, ruis) siinä, ettei se sisällä lainkaan gluteenia, joka yleisesti toimii varastoproteiinina. Kaura sisältää myös muita edellä mainittuja viljoja enemmän proteiinia ja rasvaa. (Zhou ym. 1998: 273–281.)

### 2.1 Proteiini

Kuoritut kauranjyvät sisältävät proteiinia noin 15–20 %. Suurin osa proteiinista sijaitsee lähellä kuorta; leseet sisältävät proteiinia 18–26 % ja alkio peräti 29–38 %. Erona

*Triticeae*-suvun viljoihin (ohra, ruis, vehnä), jotka sisältävät alkoholiin liukenevia prolamiineja, kauran pääasiallinen varastoproteiini on suolaliukoinen globuliini. Kaura sisältää prolamiineja arviolta 4–15 %. Vesiliukoisia albumiineja kaurassa on arviolta 1–12 %. Taulukossa 1 on esitelty kauran proteiinifraktioiden osuus, molekyylipaino (MW) sekä isoeletrinen piste (pI) (Mäkinen ym. 2016).

Taulukko 1. Kauran proteiinifraktiot (Mäkinen ym. 2016).

**Table 1.** Oat protein fractions according to Osborne protein solubility (Klose and Arendt, 2012; Lásztity, 1998; Ma and Harwalkar, 1984; Peterson, 2011).

Osborne class a	Protein (function)	MW (kDa)	% of protein <sup>b</sup>	pI
Globulins	12S (storage)	53-58	70-80	ca. 5.0
	α-polypeptide	32-37	-	5.5
	β-polypeptide	22-24	-	8.0 – 10.0
	7S (storage)	50-70	-	-
	3S (storage)	48-52	-	-
Prolamins	Avenins	17 - 34	4-14	5.0 – 9.0
Albumins	Various (metabolic)	14-17, 20-27,	1-12	4.0 – 7.5
		36-47		
Glutelins	Unextracted globulins			
	and prolamins, minor polypeptides	-	<10	-

a Albumins – water; Globulins – salt; Prolamins – aqueous ethanol; Glutelins – dilute acid or alkali

b Shows wide differences depending on the cultivar, growth conditions and extraction method

Ihmisille välttämättömistä aminohapoista (histidiini, tryptofaani, lysiini, metioniini, fenyyialaniini, treoniini, valiini, leusiini, isoleusiini) kaura sisältää muita paitsi metioniinia ja fenyyialaniinia. Kauraproteiinin pääaminohapot ovat glutamiini ja glutamiinihappo, joita kauraproteiinissa on keskimäärin noin 25 %, asparagiinihappo (noin 8,9 %) ja leusiini (noin 7,4 %). Kaura sisältää tryptofaania lukuun ottamatta kaikkia aminohappoja enemmän kuin vehnä. Soijaan verrattuna taas kauran aminohappokoostumus on köyhempi, sillä soija sisältää melkein kaikkia aminohappoja enemmän kuin kaura. Taulukossa 2 on esitelty kauran aminohappokoostumus verrattuna muihin proteiineihin. (Mäkinen ym. 2016: 105-119.)

Taulukko 2. Kauran aminohappokoostumus verrattuna muihin proteiineihin (Mäkinen, ym. 2016).

	Oat <sup>a</sup>	Wheat <sup>b</sup>	Soy <sup>c</sup>	Milk protein <sup>d</sup>	FAO, infant
Histidine	2.1-2.9	2.4	2.6	3.2	2.0
Isoleucine	3.8-4.1	2.7	4.9	5.0	3.2
Leucine	7.4-7.7	6.9	8.2	9.4	6.6
Lysine	4.1-4.5	2.4	6.3	7.6	5.7
Threonine	3.3-3.7	3.0	3.7	4.0	3.1
Tryptophan	0.8-0.9	1.4	1.3	n.r.	0.85
Valine	5.2-5.7	3.9	5.1	6.2	4.3
SAA	4.1 <sup>e</sup>	3.5	2.6	3.5	2.7
AAA	8.4 <sup>e</sup>	7.4	9.1	10.2	5.2
PDCAAS * (%)	45-51 <sup>e</sup> ; 60 <sup>f</sup>	42 <sup>e</sup> ; 37 <sup>f</sup>	91-93 <sup>f, h</sup>	112-120 <sup>f, h</sup>	-
PER	2.3 <sup>g</sup>	1.5 <sup>h</sup>	0.46; 2.28 <sup>h</sup>	3.1 <sup>h</sup>	-
Digestibility (%)	>90 <sup>i</sup> ; 85 <sup>e</sup>	77, 91 <sup>h</sup>	95 <sup>h</sup>	95 <sup>h</sup>	-

a Pettersson et al., 1996; b Abdel-Aal and Hucl, 2002; c Hughes et al., 2011; d Rutherford and Moughan, 1998; e Pedó et al., 1999; f Michaelsen et al., 2009; g (Hischke et al., 1968; h Schaafsma, 2000; i Eggum and Gullord, 1983

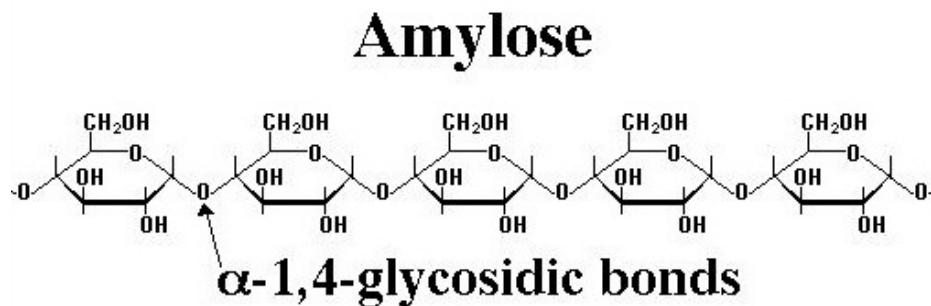
Kuten kasviproteiinia yleisestikin, myös kauraproteiinia voidaan rikastaa konsentraatiksi tai eristää isolaatiksi kasviraaka-aineesta. Yleinen tapa tuottaa kasviproteiini-isolaatteja on vesi- tai alkaliuutto, jonka jälkeen proteiinit joko saostetaan tai kuivataan jauheeksi. Saatu isolaatti sisältää runsaasti proteiinia (>80 %), mutta prosessi vaatii paljon vettä ja energiaa, erityisesti sekoitus- ja kuivausvaiheissa. (Schutyser & Van der Goot 2011: 154–164.) Rikastaminen konsentraatiksi voidaan tehdä märkä- tai kuivamenetelmin. Märkämenetelmässä kaurajauho tai lese suspendoidaan veteen ja tärkkelys pilkotaan entsymaattisesti. Tämän jälkeen kuitu erotetaan ja suspensio kuivataan proteiinikonsentraatiksi. (Whalen 2014.) Toinen mahdollinen menetelmä on kuivafraktiointi, jossa kaurajauho tai -lese erotellaan ilmvirran avulla partikkeleiden koon ja tiheyden perusteella. Näin erotellut jakeet eroavat koostumukseltaan, mikä mahdollistaa proteiinirikkaan konsentraatin tuottamisen. (Mäkinen ym. 2016: 105-114.)

## 2.2 Tärkkelys

Kauran tärkein hiilihydraatti on tärkkelys. Kauranjyvät sisältävät tärkkelystä arviolta 50–60 % kuivapainosta. Suurin osa tärkkelyksestä sijaitsee kauranjyvän ytimen

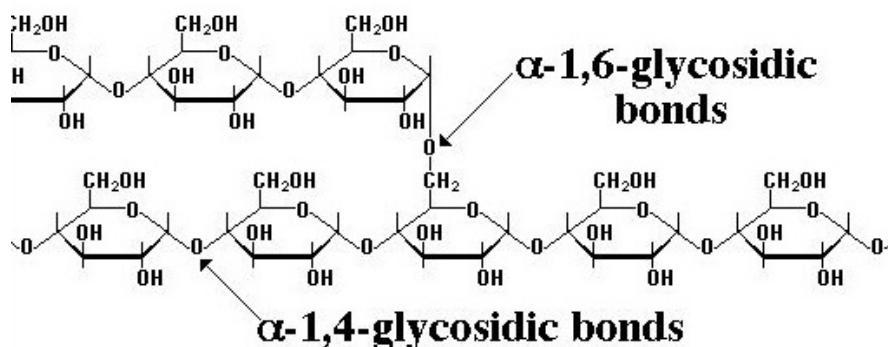
tärkkelysjyväsissä. Tärkkelyspitoisuus vaihtelee kasvuympäristön ja genotyypin mukaan. Tärkkelyspitoisuuden on todettu olevan suurempi lämpimässä ilmassa ja vähäisissä sateissa kasvaneissa kauranjyvissä kuin kylmässä ilmassa ja runsaissa sateissa kasvaneissa kauranjyvissä (BeMiller & Whistler 2009: 589–599; Zhu 2016.) Kauran tärkkelyksen koostumus poikkeaa esimerkiksi vehnän tärkkelyksestä. Kaurassa tärkkelysjyvät ovat epäsäännöllisinä yhdistelminä irrallaan proteiineista, ja tämän vuoksi kaurasta saadaan tehtyä helposti hiutaleita (Zhou ym. 1998: 273–281).

Amyloosi ja amylopektiini ovat tärkkelyksen tärkeimmät rakenteet. Tärkkelyksen seassa on myös pieniä määriä lipidejä (0,7–2,5 %) ja proteiineja (0,02–1 %) (Zhu 2016). Amyloosi on vesiliukoinen ja suoraketjuinen noin 200 – 1 000  $\alpha$ -glukoosiyksikön muodostama rakenne, jota yhdistää 1,4'-glukosididokset (Kuva 3.). Amylopektiini on rakenteeltaan hyytelömäinen, ja se koostuu alle 1 000  $\alpha$ -glukoosiyksikön muodostamista haarautuneista ketjuista, joita yhdistää suorissa osissa 1,4'-glykosididokset ja haarautumispisteissä 1,6'-glykosididokset (Kuva 4.). Eri tutkimuksissa ja erilaisilla tutkimusmenetelmillä on saatu erilaisia tuloksia amyloosin määrästä. Erään tutkimuksen mukaan amyloosin määrä tärkkelyksessä vaihtelee 2–34 % riippuen genotyypistä ja kasvuympäristöstä (BeMiller & Whistler 2009: 589–599). Keskimäärin amyloosin määrä kauran tärkkelyksessä on noin 25–30 % ja amylopektiinin noin 70 % (Zhou ym. 1998: 273–281).



Kuva 3. Amyloosin rakenne.

## Amylopectin



Kuva 4. Amylopektiinin rakenne.

Amyloosin keskimääräinen molekyylipaino kaurassa on  $1,68 \cdot 10^5$  g/mol, joka on samaa luokkaa kuin maissilla  $1,56 \cdot 10^5$  g/mol ja riisillä  $1,63 \cdot 10^5$  g/mol (Simsek ym. 2013: 181–190). Simsek ym. (2013: 181–190) huomasivat kauran amylopektiinillä olevan kaksi erilaista fraktiota, joilla on erilaiset molekyylipainot. Suuremman fraktion keskimääräinen molekyylipaino on  $1,36 \cdot 10^5$  g/mol ja pienemmän fraktion  $3,19 \cdot 10^5$  g/mol. Nämä arvot ovat suurempia kuin muilla tärkkelyksillä (maissi, riisi, ohra, tattari, ruis ja drumvehnä).

Kauran tärkkelyksen turpoamiskyky (swelling power, SP) ja liukoisuus ovat myös riippuvaisia kasvuolosuhteista ja geneettisistä ominaisuuksista. Esimerkiksi Tšekeissä viljellyn kolmen eri lajikkeen turpoamiskyky vaihteli 12,8–31,1 g/g ja liukoisuus 7–35 % 85 °C:ssa. Tärkkelyksen turpoamiskykyyn ja liukoisuuteen vaikuttavat amyloosipitoisuus, amyloosin ja amylopektiinin rakenteet ja rakenteiden järjestys sekä pienien komponenttien, kuten proteiinien ja lipidien läsnäolo. (Zhu 2016.)

### 2.3 Lipidit

Kauranjyvä sisältä rasvaa noin 3–11 %, ja se on erinomainen tyydyttymättömien rasvahappojen lähde. Kauranjyvän lipidit ovat suurimmaksi osaksi triglyseridejä ja suurin pitoisuus sijaitsee alkiossa. (Youngs ym. 1982: 49-107.)

Lipidifraktio määrää suuressa määrin kauranjyvän energiasisällön, ja sillä on merkittävä vaikutus kauran ravitsemukselliseen laatuun sen rasvahappokoostumuksen kautta. Lipidit luultavimmin vaikuttavat myös kauran tärkkelyksen geeliytymisominaisuuksiin, jolloin niillä on vaikutuksia myös tärkkelyksen toiminnallisuuteen. Lipideillä on myös vaikutusta kauran makuun ja maistuvuuteen. (Zhou ym. 1999.)

Käsitlemättömän kauran rasvoilla on taipumus hapettua, jolloin rasvamolekyylit pilkkoutuvat vapaiksi rasvahapoiksi. Kaurassa lipaasientsyymi pilkkoo rasvoja vapaiksi rasvahapoiksi. Kauran suuri rasvapitoisuus vaikuttaa kauran säilyvyyteen, sillä vapaat rasvahapot pääsevät hapettumaan ja vaikuttavat näin tuotteen makuun ja laatuun. (Youngs ym. 1982 49-107.)

#### 2.4 Beetaglukaani ( $\beta$ -glukaani)

Beetaglukaani [(1  $\rightarrow$  3) (1  $\rightarrow$  4) - $\beta$ -D-glukaani] on kuitu, jota on pääosin kauranjyvän leseen aleuronikerroksessa sekä ytimessä, ja sitä on kauranjyvässä noin 3,5–5 % kuivapainosta (Kivelä 2011). Yleisesti kuidut ovat veteen liukenemattomia, mutta beetaglukaani liukenee veteen, minkä vuoksi sillä on kyky muodostaa geelejä. Beetaglukaani koostuu glukoosimolekyyleistä, jotka muodostavat pitkäketjuisen polysakkaridin. Beetaglukanin ansiosta kauralla on vehnää, maissia ja riisiä parempi vedensitomiskyky. (Autio 2006: 168–208.)

Beetaglukaanilla on tutkitusti terveyttä edistäviä vaikutuksia ja se parantaa elintarvikkeiden rakenteellisia ominaisuuksia. Nämä vaikutukset johtuvat pitkälti soluseinämän polysakkaridien erinomaisesta viskoosinmuodostuskyvystä. Viskoositeettiin tiedetään vaikuttavan moolimassa, liukoisuus ja beetaglukaanin konformaatio. Suuri viskositeetti hidastaa ruuansulatuskanavan sisällön sekoittumista ja vähentää diffuusiota. Tämä viivästyttää ravintoaineiden, kuten glukoosin, lipidien ja sappihappojen imeytymistä ja näin hidastaa verensokerin nousua. (Kivelä, 2011.)

Euroopan elintarvikevirasto (EFSA) on hyväksynyt kauralle neljä terveysväittämää, jotka kohdistuvat kauran sisältämän beetaglukaanin terveyttä edistäviin vaikutuksiin. Vuonna 2011 EFSA hyväksyi kauran beetaglukaanille artiklan 14 mukaisen terveysväittämän ”Kauran beetaglukaanin on todettu alentavan veren kolesterolia, ja siten alentavan sepelvaltimotaudin riskiä” (E, 2011). Vuonna 2012 hyväksyttiin kolme artiklan 13 mukaista väittämää ”beetaglukaani auttaa hallitsemaan veren kolesterolitasoa”, ”Kauran ja ohran beetaglukaani vaikuttaa alentavasti veren sokerin nousuun ruokailun jälkeen” ja ”Kauran kuidut lisäävät ulosteen kiintoaineen määrää” (EU 2012).

### 3 HPP-käsittelyn vaikutukset

HPP on uusi tekniikka, joten menetelmää käsittelevä tutkimustieto on vielä rajallista. Tutkimukset kasviproteiinituotteiden HPP-käsittelystä ovat vielä vähäisiä, mutta kiinnostavuutensa ansiosta uusia tutkimuksia tehdään jatkuvasti. HPP:n sanotaan vaikuttavan väreihin, makuihin ja vitamiineihin vähän, mutta käytännössä suurimmilla paineilla varsinkin yhdistettynä lämpötilan nostoon saadaan aikaan myös näihin ominaisuuksiin muutoksia. Lämpökäsittelyyn, kuivaukseen tai pakastukseen verrattuna vaikutukset ovat kuitenkin verrattain pienet. Esimerkiksi tuoreen basilikan käsittelyssä HPP-käsittely aiheutti kuivaukseen, pakastukseen ja lämpökäsittelyyn verrattuna vähiten muutoksia (Volk, 2009). Tämä johtuu pitkälti siitä, että HPP vaikuttaa heikkoihin sidoksiin, kuten vetysidoksiin, hydrofobiseen ionisuuteen sekä Van der Waalsin voimiin, kun taas kovalenttiset sidokset pysyvät suurelta osin muuttumattomina.

Painekäsittelyssä elintarviketta puristetaan kasaan joka puolelta yhtä suurella voimalla ja käsittelyn jälkeen tuote palautuu normaaliin ilmanpaineeseen. Mikäli vesipitoisuus on riittävä, jolloin myös paineen jakautuminen on tasaista, käsittely ei tuhoa tuotteen makroskooppista rakennetta, kuten esimerkiksi kuivaaminen tai lämpökäsittely. Kuivaaminen kutistaa basilikaa ja muuttaa sen pintarakennetta, jolloin solukosta tulee hauras. Vesimolekyyli muodostaa vetysidoksia ympäröivien molekyylien kanssa ja kun vesimolekyylit poistetaan, myös tukena olleet sidokset poistuvat. Myös pakastaminen aiheuttaa tuotteen kuivumista sublimoitumisen ja härmistymisen takia jäätä höyryksi ja takaisinpäin. Pakastus rikkoo solurakenteita, kun veden olomuoto muuttuu. Lisäksi pakastettaessa veden muuttuessa jääksi se luovuttaa suuren määrän energiaa ympäristöönsä, mikä taas hidastaa jäätymistä ja aiheuttaa solurakenteiden rikkoutumista. Kuumentaminen taas aiheuttaa vesimolekyyliessä lämpöliikettä, jolloin vetysidokset heikkenevät. Kuumentaminen aiheuttaa myös proteiineissa ja tärkkelyksessä muutoksia.

Hiilihydraatit ja proteiinit vaikuttavat suuresti elintarvikkeen fysikaalisiin ominaisuuksiin. Useimmat proteiinit denaturoituvat 300 MPa:n paineessa, ja yhdistettynä lämmön kanssa vaikutukset rakenteessa ovat vielä suuremmat. Proteiinien denaturoituminen aiheuttaa näkyviä muutoksia rakenteeseen esimerkiksi kananmunan proteiinien hyytyminen ja lihan värinmuutos. Denaturoituminen aiheuttaa myös entsyymien inaktivoitumista, jolloin elintarvike ei ole enää yhtä herkkä muutoksille, esimerkiksi hedelmien entsyymit aktivoituvat leikkaamisen jälkeen, mutta kun entsyymit

inaktivoidaan käsittelyllä, tuote ei enää pilaannu samalla tavalla kuin leikattu tuore hedelmä. (Kaitaranta, 2014.)

HPP vaikuttaa erilaisiin sidoksiin solussa, mikä aiheuttaa muutoksia mikro-organismeissa. Kun solun heikot vuorovaikutukset katkeavat tai proteiinit denaturoituvat, solun toiminnallisuus tuhoutuu. Tämä aiheuttaa mikrobien kuoleman, jolloin tuotteet pastöroituvat. Uusimmissa tutkimuksissa on saatu tuhottua jopa bakteerien itiöitä, kun lämpötilaa on nostettu prosessin aikana (Hendrickx ym. 2001: 3–7). Tämä on mahdollistanut tuotteiden steriloinnin HPP-tekniikan avulla.

### 3.1 Proteiinit ja entsyymit

Proteiinit ovat ravitsemuksellisesti välttämättömiä ja vaikuttavat ruuan rakenteeseen suuresti. Proteiinien rakennetta voidaan kuvailla eri tasoilla, primäärirakenne kuvaa proteiinin aminohappojen lineaarista järjestystä polypeptidiketjussa. Aminohappoja tunnetaan 20 erilaista, joten ne voivat muodostaa  $20^n$  ( $n$ =aminohappojen lukumäärä polypeptidiketjussa) erilaista polypeptidiketjua. Aminohappojen sivuketjut ja niiden liitokset vetysidoksilla muodostavat kolmiulotteisen sekundäärirakenteen. Sekundäärirakennetta tarkasteltaessa voidaan erottaa kahdenlaisia konformaatioita:  $\alpha$ -kierteitä sekä  $\beta$ -laskoksia (myös rinnakkaisten  $\beta$ -laskoksien muodostamia  $\beta$ -levyjä). Polaaristen ja hydrofobisten sivuketjujen sijoittuminen proteiinissa aikaansaa laskostumisen, kun hydrofobiset sivuketjut pyrkivät molekyylin sisäosiin ja polaariset sivuketjut molekyylin pinnalle.  $\alpha$ -kierteessä aminohappojen sivuketjut suuntautuvat ulospäin ja aikaansaavat polypeptidirungolle sylinterimäisen rakenteen.  $\alpha$ -kierteet ovat ominaisia pallomaisille ja kuitumaisille proteiineille.  $\beta$ -laskoksia muodostuu, kun polypeptidiketju laskostuu vekkimäisesti vierekkäisten aminohappojen sivuketjujen osoittaessa vastakkaisiin suuntiin. Tertiäärirakenne kuvaa proteiinin polypeptidiketjujen kolmiulotteisuutta. Tertiäärisiä ja sekundaarisia rakenteita kutsutaan yhdessä proteiinin korkeammaksi rakenteeksi ja toiminnalliset ominaisuudet johtuvat nimenomaan näistä rakenteista. (Happonen ym. 2012.)

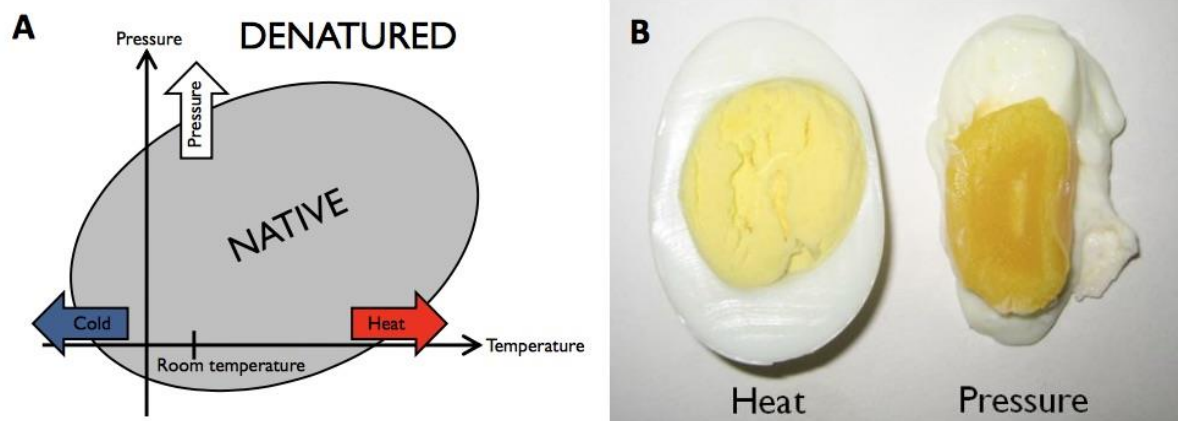
Proteiinimolekyylin tarkka muoto ja konformaatio ovat seurausta heikoista ei-kovalenttisista molekyylien välisistä vuorovaikutuksista korkeammassa rakenteessa, joihin kuuluvat esimerkiksi sivuketjujen vetysidokset, disulfidisidokset ja ionisidokset. Vakain rakenne on sellainen, jossa on suurin määrä vakauttavia vuorovaikutuksia. Proteiinien denaturointi on juuri näiden korkeampien rakenteiden menetystä. Osa proteiineista on melko resistenttejä denaturoinnille, kun taas osa proteiineista denaturoituu helposti. Proteiinin denaturoitumisen tapahtumiseksi syötetyn energian



tulee ylittää sidosten välisten vuorovaikutusten voima. 600 MPa:n paine riittää antamaan tarvittavan energian, jotta rakenne häiriintyy sekä sekundaarisella että tertiäärisellä tasolla. Useimmiten paineen vaikutukset proteiineihin ovat palautuvia, ja vain harvoin niistä seuraa aggregaatio tai muutos kovalenttisessa rakenteessa. (Schaschke, 2010; Happonen ym. 2006: 34.)

Proteiineissa tapahtuvista kemiallisista muutoksista hyytyminen eli koaguloituminen on yksi tunnetuimmista. Koaguloitumisen pystyy ihmissilmä näkemään, ja se onkin yksi proteiinin ensimmäisistä kemiallisista reaktioista, jonka ihmiset ovat huomanneet. Esimerkiksi kananmunaa keittäessä proteiini koaguloituu; ensin proteiini denaturoituu ja sen jälkeen saostuu. Proteiinin denaturoituessa proteiinin tertiäärirakenteesta katkeaa vahvoja kovalenttisia sidoksia aminohappojen sivuryhmien välillä sekä heikkoja sidoksia polaaristen ja polaarittomien aminohapposivuryhmien välillä ja tällöin proteiinin molekyyli rakenne rikkoutuu ja muuttuu silmukkamaiseksi rakenteeksi. Proteiinin denaturoituessa sen liukoisuus muuttuu niin, ettei se ole enää liukoinen samassa isoelektrisessä pisteessä eli pH-arvossa, jossa proteiinin varaus on nolla. (McMurry 2008.)

Denaturoituminen tapahtuu joissain tapauksissa jo 300 MPa:n paineessa. Mikäli proteiinien rakenteellisia muutoksia halutaan välttää, käytetään noin 200–300 MPa:n painetta. Kuvassa 5A on esitetty kaaviona kananmunan proteiinien denaturoituminen lämpötilan ja paineen suhteen. Harmaalla alueella proteiinit eivät esiinny denaturoituneessa muodossa. Pelkän paineen avulla kananmunan proteiinit denaturoituvat täydellisesti noin 700 MPa:n paineessa. Korkeassa paineessa aikaansaatu denaturoituminen ei ole aivan identtinen korkeassa lämpötilassa tapahtuvan denaturoitumisen kanssa, esimerkiksi värit eivät muutu samalla tavalla (kuva 5B). (The National Food Lab 2013.)



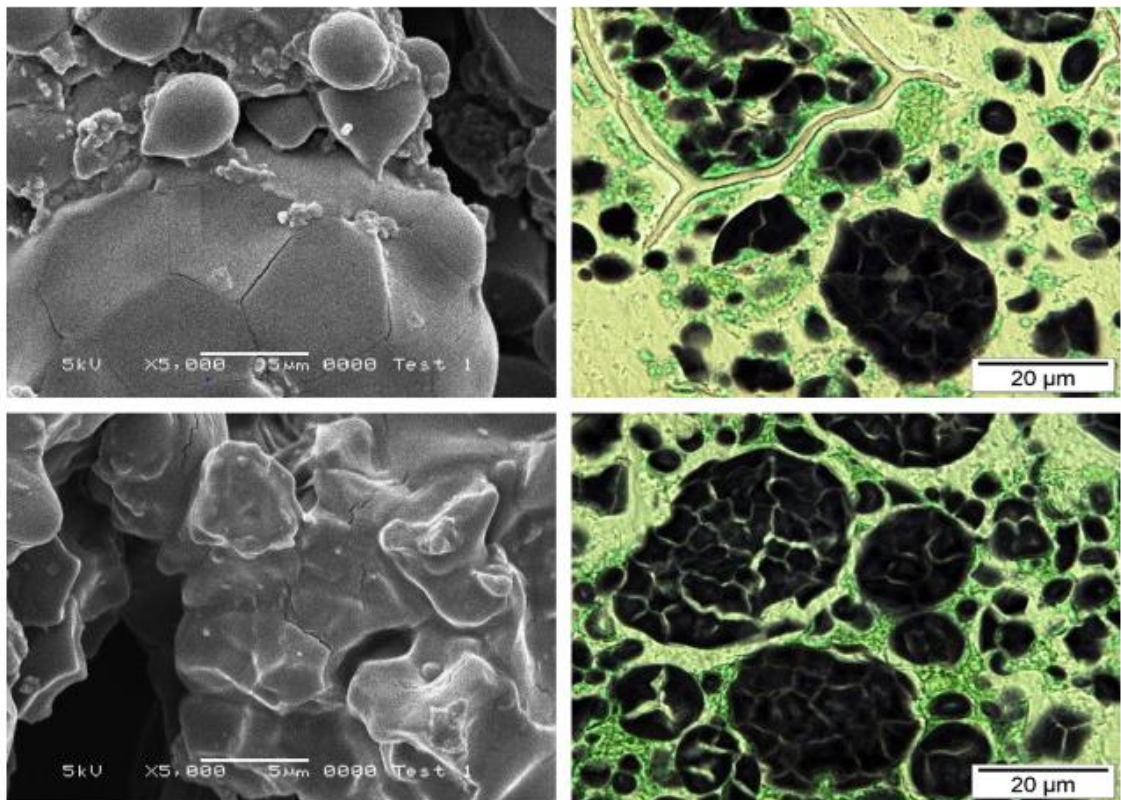
Kuva 5. Paineen ja lämpötilan vaikutus proteiineihin. Kuva A kuvaa proteiinien denaturoitumisen riippuvuuden lämpötilasta ja paineesta, harmaalla alueella proteiinit ovat normaalitilassa, ulkopuolella denaturoituneessa muodossa. Kuvassa B näkyy kuumassa denaturoidun ja paineessa denaturoidun kananmunan eroavaisuus. (The National Food Lab, 2013.)

Volkin (2009: 26–27) mukaan HPP-käsittelyllä voidaan vaikuttaa soija- ja kanamunatuotteisiin monella tavalla riippuen käsittelyolosuhteista. HPP-käsittelyllä voidaan saada aikaan nestemäisiä kanamunatuotteita, joissa proteiinit eivät ole denaturoituneet tai koaguloituneet, mutta *Salmonella enteritidis* ja muut haitalliset mikrobit on tuhottu. Tämä ei ole ollut mahdollista perinteisillä pastörintimenetelmillä proteiinien hyytymisen takia.

HPP-käsittelyllä on myös saatu parannettua kananmunan valkuaisvaahdon stabiilisuutta ja voimakkuutta. Myös soijan proteiineihin käsittelyolosuhteet vaikuttavat suuresti. 400 MPa:n paineessa 7S-globuliini on enimmäkseen avautunut, kun taas 11S-globuliinin rakenteessa tapahtuu suurempia muutoksia. 200–600 MPa:n käsittely lisäsi soijaproteiini-isolaattien hydrofobisuutta, mikä osoittaa, että paine aiheuttaa proteiinien rakenteen avautumista ja paljastaa proteiinin sisäosan hydrofobisia ryhmiä.

Hüttner ym. (2009) tutkivat kaurataikinalle tapahtuvia muutoksia korkeapainekäsittelyssä. Tutkimuksen päätavoite oli selvittää rakenteellisia muutoksia, jotka edistäisivät leivottavuutta. Tutkimuksessa käsiteltävä materiaali oli 1:0,95 (w/w) kaura-vesi-seos, jota käsiteltiin 200, 300, 350, 400 ja 500 MPa:n paineessa (10 min, 20 °C). Käsittelyn jälkeen näytteet tutkittiin valo- ja pyyhkäisyelektronimikroskoopilla, kapillaarielektroforeesilla sekä reologisella mittauksella. Tutkimus osoitti, että mikrorakenne muuttui käsittelyn aikana sekä tarkkelyksen että proteiinien osalta.

Kuvassa 6 on esitetty käsittelemättömän näytteen (yläpuolella) ja 500 MPa:n paineessa käsitellyn näytteen kuvat pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (vasemmalla) ja valomikroskoopilla (oikealla) kuvattuna. Valomikroskoopilla kuvatut proteiinit on värjätty vihreiksi ja tärkkelys ruskeaksi. Sekä tärkkelys että proteiinit ovat muuttuneet käsittelyn aikana, mikä ilmeni vertaamalla käsittelemättömän ja 500 MPa:n paineessa käsitellyn näytteen mikroskooppikuvia. Suurin osa kauran tärkkelysrakeista säilytti rakeisen rakenteen, mutta pinnan ulkonäön muutokset näkyivät. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvasta voidaan nähdä, että 500 MPa:n paineella käsitellyn näytteen tärkkelysrakeet turposivat ja muuttuivat hieman hajoaviksi. Kuvassa 6 käsittelemättömässä valomikroskooppinäytteessä vihreät proteiinit ovat kasoina ja välissä on vaaleampaa aluetta, kun taas alemmassa kuvassa turvonneet tärkkelysmolekyylit ovat pakottaneet proteiinit pienempään tilaan tummemmiksi kasoiksi. Proteiinien muodon muuttuminen näkyy selvemmin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla otetuissa kuvissa. (Hüttner ym. 2009.)



Kuva 6. Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (vasemmalla) ja valomikroskoopilla (oikealla; proteiinit on värjätty vihreiksi ja tärkkelys ruskeaksi) kuvattu käsittelemätön näyte (yläpuolella) ja 500 MPa:n paineessa käsitelty näyte (alapuolella). (Hüttner ym. 2009)

Kapillaarielektroforeesilla tutkittaessa näytteet liuotettiin kolmeen eri puskuriin proteiinien liukoisuuden mukaan:

- puskuri P (vesi- ja suolaliukoiset proteiinit, 0,05 M  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , 0,1 M NaCl, pH 7,0),
- puskuri U (ureaan liukenevat proteiinit, puskuri P + 6 M urea) sekä
- puskuri D (disulfidi sidokset, puskuri U + DTT).

Liuotuksen jälkeen proteiinipitoisuus tutkittiin kustakin näytteestä. Proteiinit liuotettiin erilaisiin puskureihin, jotta saataisiin tietoa proteiinien tyypeistä ja käsittelyn vaikutuksesta niihin. Proteiinien liukoisuuteen vaikuttavat niiden isoelektrinen piste, proteiinien molekyylipaino, varauksellisuus, liuoksen vahvuus, poolisuus ja poolittomuus, aminoryhmät ja konformaatio. Käsitlemättömän taikinan proteiinifraktiot saatiin selville eri puskureihin liuotetuista näytteistä. Huomattavin ero käsiteltyjen ja käsitlemättömän näytteen välillä oli proteiinikonsentraatioissa eli bandien intensiteetissä: kuvasta 7 nähdään, että intensiteetti laski mitä korkeammassa paineessa näyte oli käsitelty, viitaten liukoisuuden menetykseen. Proteiinia oli siis jäänyt liukenematta puskureihin ja poistettu näytteistä sakkana ennen analyysiä.

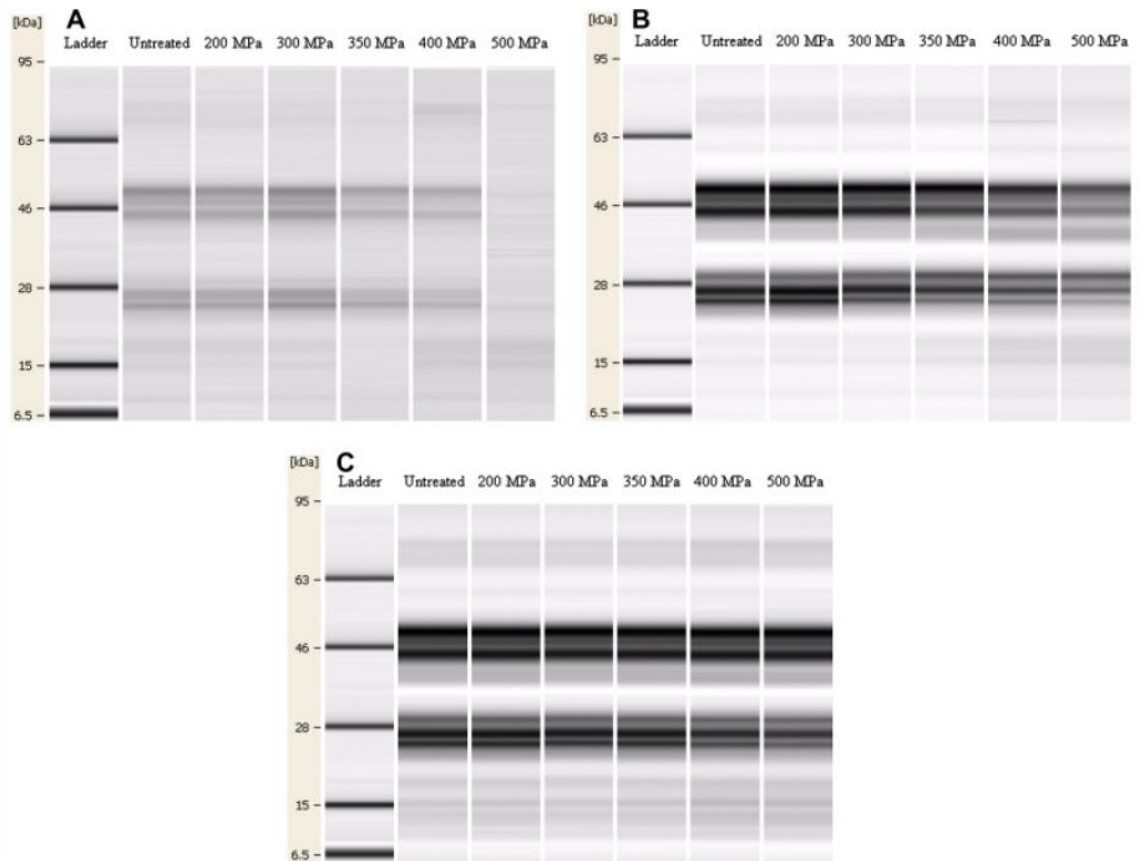


Fig. 6.

Capillary gel electrophoresis analysis of proteins extracted from untreated and high HP-treated oat batters. A, Proteins extracted in phosphate buffer; B, proteins extracted in urea buffer; C, proteins extracted using urea and DTT.

Kuva 7. Kapillaarielektroforeesiajon tulokset, A, B, C kuvissa kaurataikinanäytteet on liuotettu erilaisiin puskuriliuoksiin A=Puskuri P, B=Puskuri U, C=Puskuri D (Hüttner ym. 2009).

500 MPa:n paineessa käsitellyn näytteen voimakkuus oli huomattavasti pienempi verrattuna pienemmillä paineilla käsiteltyihin, etenkin puskuriin P ja U liuotetuilla näytteillä. 200 MPa:n paineessa käsiteltyt näytteet eivät muuttuneet käsittelemättömään näytteeseen verrattuna millään puskurilla. Puskuriin D liuotettujen näytteiden bandit olivat voimakkuuksiltaan lähimpänä toisiaan. Bandien voimakkuuden muutos kertoo liukoisuuden muutoksesta, joka taas on seurausta proteiinien muuttumisesta. Puskuriin D liuotettujen näytteiden proteiinien liukoisuus pieneni vähiten, eli voidaan päätellä, että proteiinien disulfididokset eivät muuttuneet käsittelyssä suuresti. Puskureihin P ja U liuotetuilla näytteillä bandien voimakkuudet laskevat korkeimmissa paineissa käsiteltyillä näytteillä, eli vesi-, suola- ja urealiukoisissa proteiineissa tapahtuu muutosta suurimmissa paineissa. (Hüttner ym. 2009.)

Disulfididisidosten ja urean liukenemattomien proteiini-kompleksien muodostumista tapahtui korkeimmissa paineissa. Erityisesti disulfididisidokset ovat erittäin tärkeitä gluteenin rakenteelle ja funktionaalisuudelle (Grosch & Wieser 1999: 1-16), mikä taas on tärkeää vehnä jauhojen leivottavuudelle. Jos disulfididisidosten muodostumista on tapahtunut, nämä tulokset osoittavat, että korkeapainetekniikalla voi olla positiivisia vaikutuksia kaurataikinan leivontaominaisuuksiin. Havaittujen reaktioiden laajuus oli kuitenkin riippuvainen käytetystä paineesta.

Korkeapaineprosessoinnilla pystytään inaktivoimaan entsyymien toimintaa. Entsyymit ovat proteiineja, jotka katalysoivat kemiallisia reaktioita. Proteiinien denaturoituminen aiheuttaa entsyymien toiminnallisuuden tuhoutumisen, kun proteiini-konformaatiot muuttuvat. Entsyymitoiminnassa molekyylin avaruudellinen rakenne on keskeisessä osassa, sillä entsyymit ovat yleensä hyvin substraattispesifejä, jolloin pienikin konformaatiomuutos vaikuttaa entsyymin toiminnallisuuteen. (Happonen ym. 2006: 34.)

Entsyymit inaktivoituvat lämpökäsittelyissä noin 40–80 °C:ssa ja korkeapainekäsittelyssä noin 200 MPa:n paineessa. Kasviksissa ja hedelmissä haitallista ruskettumista aiheuttava polyfenolioksidasi (tyrosinaasi, PPO) kestää painekäsittelyä hyvin, joten sen tuhoaminen vaatii suuremman paineen. Korkeapainetekniikkaa käytetäänkin osaltaan kasvisten ja hedelmien säilyvyyden parantamiseen. Entsyymit aktivoituvat, kun kasviksia pilkotaan, joten inaktivoimalla entsyymitoimintaa saadaan pidennettyä vihannesten ja kasviksien säilyvyyttä. (Kaitaranta 2014.)

Proteiinien konformaation ja rakenteen muutoksien tutkiminen on onnistuttu tekemään röntgenkristallografialla sekä ydinspektroskopialla. Vaikeutena on saada tarpeeksi laadukkaita ja hyvin puhdistettuja proteiineja. Rakenteellisten muutosten tutkiminen onnistuu myös esimerkiksi SDS-pageajolla, jossa proteiinit johdetaan sähkövirtaan. Tällä menetelmällä pystytään kuitenkin tutkimaan vain, onko proteiineissa tapahtunut muutoksia, muttei kerro millaisia muutoksia on tapahtunut. SDS-pagen rinnalla voidaan käyttää kuitenkin myös partikkelikokoon ja varaukseen perustuvia menetelmiä, joilla voidaan selvittää proteiineissa tapahtuvia muutoksia. (Schaschke 2010.)

### 3.2 Rasvat

Korkeapainekäsittelyn tiedetään vaikuttavan huomattavasti nesteiden ja erityisesti öljyjen virtausominaisuuksiin. Melko yleinen sääntö on, että mitä monimutkaisempi nesteen molekyyli-rakenne on, sitä suurempi on paineen vaikutus. Korkeapaine voi myös

vaikuttaa lipidien ja öljyjen hapettumisasteeseen ja muihin kemiallisiin reaktioihin. Koska öljyt ja lipidit vaikuttavat useiden elintarvikkeiden aistinvaraisiin ominaisuuksiin suutuntuman kautta, viskositeetti on tärkeä arviointiparametri. (Schaschke 2010.)

Korkeapainekäsittelyn on havaittu inaktivoivan entsyymejä (Kaitaranta 2014.) Jos korkealla paineella saadaan tuhottua myös kauran rasvahappoja hapettavia entsyymejä, esimerkiksi lipaasi-, lipoksygenaasi- sekä lipoperoksidaasientsyymit, käsittelyllä voitaisiin vaikuttaa kauratuotteiden lipidien säilyvyyteen.

### 3.3 Hiilihydraatit

Hiilihydraateista tärkkelyksellä on suuri vaikutus elintarvikkeiden rakenteeseen. Korkeapaineprosessointi vaikuttaa tärkkelyksen rakenteeseen turpoamisena ja gelatinoitumisena. Tärkkelyksen gelatinoituminen on perusteellisempaa korkeassa paineessa kuin kuumuuden vaikutuksesta (Kaiwai, Fukami & Yamamoto, 2012.) Gelatinoitumisella tarkoitetaan tärkkelysjyväsien liisteröitymistä, kun sitä kuumennetaan tai altistetaan suurelle paineelle vedessä. Tällöin jyväsien rakenne hajoaa ja amyloosiketjut purkaantuvat. Amylopektiiniketjut paisuvat, mikä saa viskositeetin kasvamaan, ja neste muuttuu jäähtyessään geeliksi. (Salovaara 2012.)

Tärkkelyksen ominaisuudet vaihtelevat suuresti eri viljojen välillä. Esimerkiksi vehnä-, peruna- ja kauratärkkelyksen rakenteet ovat erilaisia, etenkin amyloosi-amylopektiinisuhdetta tarkastellessa: Peruna sisältää paljon amyloosia, kun taas vehnä ja kaura sisältävät enemmän amylopektiiniä. Mitä korkeampi amyloosi-amylopektiinisuhde on, sitä paremmin tärkkelys sietää painetta. (Kaitaranta 2014.)

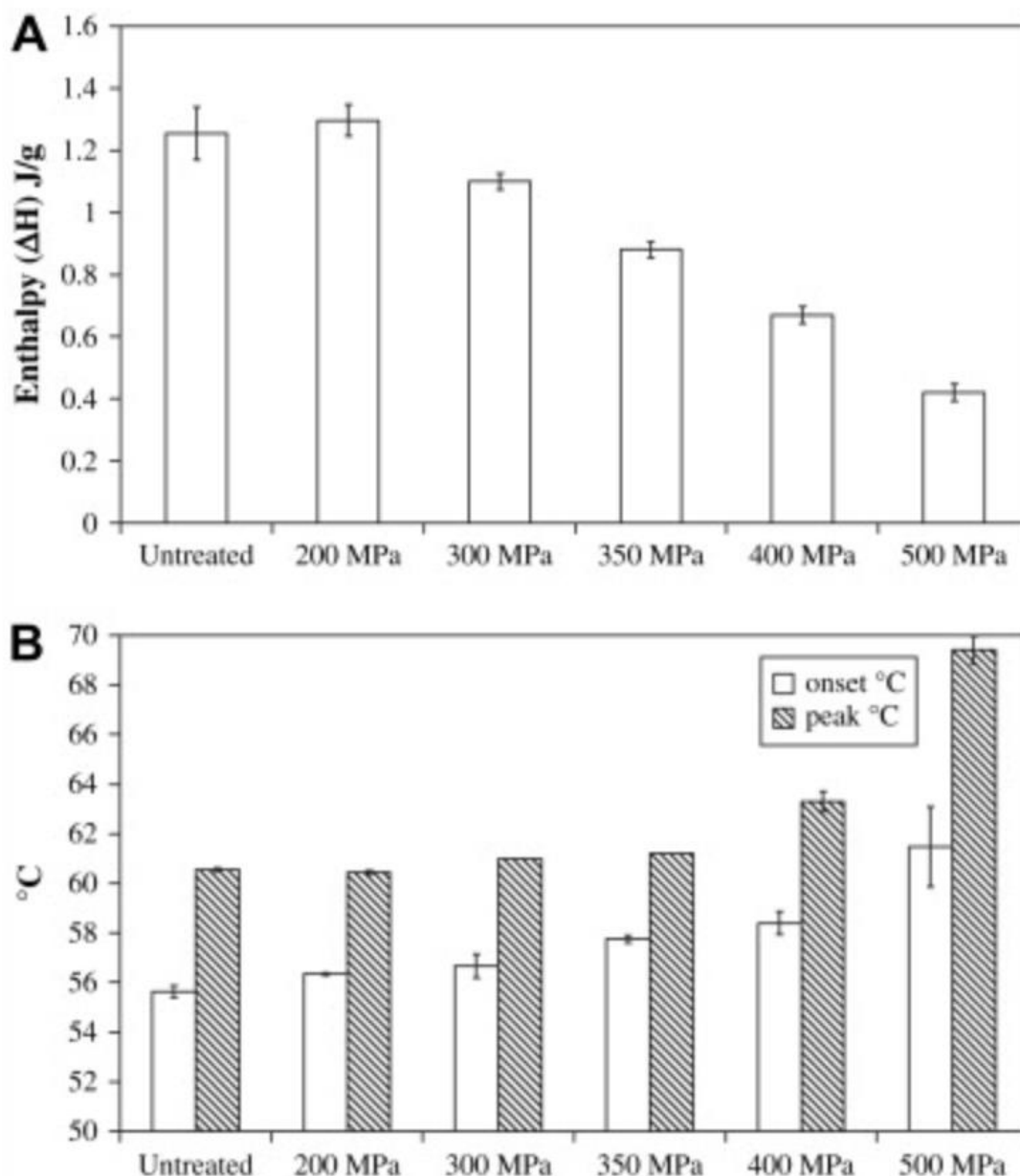
Hüttnerin ym. (2009) tutkimuksessa havaittiin, että tärkkelysjyvät turposivat HPP-käsittelyn aikana. Kuvassa 6 on esitetty valo- ja pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvat käsittelemättömästä ja käsitellystä näytteestä. Tärkkelyksen turpoaminen aiheuttaa myös tilavuuden kasvua. Tilavuuden kasvu vaikuttaa leivontaominaisuuksiin positiivisesti, sillä taikinasta tulee kuohkeampaa.

#### 3.3.1 Differentilaalinen pyyhkäisykalorimetritesti (DSC)

Differentiaalisella pyyhkäisykalorimetritestillä (DSC) pystytään tutkimaan aineiden termisiä muutoksia. Kun aineita lämmitetään tai jäädytetään, niissä tapahtuu lämpökapasiteetin ja lämpövirran muutoksia; endotermisiä reaktioita kuten sulamista sekä eksotermisiä reaktioita kuten kiteytymistä.

Hüttner ym. (2009) osoittivat kaura-vesiseokselle tehdyssä tutkimuksessa tärkkelyksen gelatinoitumisen alkavan 300 MPa:n paineessa ja olevan täydellistä 500 MPa:n käsittelyn jälkeen. Tärkkelyksen tarkasteluun käytettiin differentiaalista pyyhkäisykalorimetria (DSC). Tutkimuksessa kaikissa tutkituissa näytteissä näkyi yksi endoterminen huippu eli aineen sulamislämpötila.  $T_0$  ja  $T_m$  eli alkupiste (onset) ja sulamispiste (peak) olivat käsittelemättömällä näytteellä 55,6 °C ja 60,6 °C ja 500 MPa:n paineessa käsitellyllä näytteellä 61,5 °C ja 69,4 °C (Kuva 8 B). 500 MPa:n paineessa käsitelty näyte saavutti siis muodonmuutoksen kiinteästä nestemäiseen korkeammassa lämpötilassa kuin käsittelemätön näyte. Käsittelemättömän ja 200 MPa:n paineella käsitellyn näytteen välillä ei huomattu eroa, mutta yli 300 MPa:n painekäsittely vähensi entalpiahuipun korkeutta, jolloin sulamisentalpia  $\Delta H$  pieneni.  $\Delta H$  laski noin 0,8 J/g (1,25:stä 0,42:een J/g) käsittelemättömän ja 500 MPa:n paineella käsitellyn näytteen välillä (Kuva 8 A). (Hüttner, ym. 2009.)





Kuva 8. Kaurataikinan tärkkelyksen muutokset korkeapainekäsittelyssä (Hüttner ym. 2009).

### 3.3.2 Reologiset tutkimukset

Reologisilla tutkimuksilla voidaan tarkastella aineen reologisia- eli virtausominaisuuksia, kuten viskositeettiä ja elastisia ominaisuuksia. Tutkimuksiin voidaan käyttää joko viskosimetriä, joka toimii vain viskositeetin määrittämiseen, tai reometriä, jolla voidaan määrittää myös muita reologisia ominaisuuksia, esimerkiksi elastisuutta. (Mezger 2011.)

Hüttnerin ym. (2009) tutkimuksessa kaurataikinanäytteille suoritettiin reologisia tutkimuksia välittömästi painekäsittelyn jälkeen. Näytteille suoritettiin

amplitudipyyhkäisymittaus taajuuksilla 1–50 Hz ja kohdekanta (target strain) oli  $1 \times 10^{-4}$  (0,01 %). Amplitudipyyhkäisymittaus (AS) on oskillaatiotesti, jossa vain amplitudi muuttuu, kun taas taajuus ja lämpötila pysyvät vakioina. Mittausta käytettiin selvittämään korkeapainekäsittelyn vaikutuksia kaurataikinan yleiseen rakenteeseen. Mittausta voidaan käyttää vain lineaarisella viskoelastisella alueella (LVE), sillä LVE-alueen ulkopuolella näytteen rakenne saattaa rikkoutua. Amplitudipyyhkäisymittauksilla pystytään selvittämään sekä aineiden elastisia että viskoottisia ominaisuuksia. (Mezger 2011.)

Elastiset ja viskoottiset ominaisuudet:

- $G'$  = elastinen moduuli eli varastomoduli. Suure [Pa], joka kertoo, paljonko aine on varastoinut muodonmuutosenergiaa rasituksen aikana. Edustaa näytteen elastisia ominaisuuksia.
- $G''$  = viskoottinen moduuli eli häviömoduuli. Suure [Pa], joka kertoo, paljonko aine on käyttänyt muodonmuutosenergiaa rasituksen aikana. Edustaa aineen viskoottisia ominaisuuksia. (Mezger, 2011.)

Näytteet puristettiin kahden reometrilevyn väliin (halkaisija 50 mm ja levyjen välinen rako 1 mm). Näytteet sijoitettiin reometrilevyjen väliin 5 min ennen kutakin testiä jännityksen ja lämpötilan tasaamiseksi, ja näytelevyihin oli kytketty levylämmitin, joka piti lämpötilan vakiona 30 °C:ssa. Reologiset ominaisuudet laskettiin laitteen valmistajalta saadun ohjelmiston avulla (Rheoplus, Anton Paar, Saksa). Kaikki testit toistettiin ja tulokset laskettiin useamman testin keskiarvoista. Kaiken kaikkiaan korkeapainekäsittely aiheutti lineaarisen viskoelastisen alueen (LVE) merkittävän laajenemisen (Taulukko 3). Saatujen jännitysten määrä kasvoi käsittelemättömän kaurataikinan 3,0 Pa:sta 500 MPa:n paineella käsitellyn näytteen leikkausjännitteeseen 1546,7 Pa. (Hüttner ym. 2009.)

Taulukko 3. Reologisen testin tulokset käsittelemättömälle ja 200, 300, 350, 400 ja 500 MPa:n paineessa käsitellyille kaurataikinanäytteille (Hüttner ym. 2009.)

Table 1. Yield stresses at which the end of the LVE range was reached. 50% of these stresses were applied in the creep test. <sup>a</sup>		
Pressures	Shear stress (Pa)	% of recovery <sup>b</sup>
Untreated	3.0 ± 0.2a	61.1 ± 0.9a
200 MPa	4.9 ± 0.3a	42.2 ± 7.0b
300 MPa	17.8 ± 1.5a	64.6 ± 5.6a
350 MPa	35.4 ± 1.0a	66.8 ± 3.7a
400 MPa	551.3 ± 55.0b	77.0 ± 4.6c
500 MPa	1546.7 ± 25.2c	79.2 ± 1.9d

a  
Mean values followed by the same letter in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

b  
Shear stresses of 50% were applied during the creep tests.

Tärkkelyksen monosakkaridien väliset vetysidokset vahvistavat molekyylin rakennetta, ne tekevät siitä kiteisen ja vähentävät liukoisuutta. Jos vetysidokset rikotaan kuumennuksella tai sopivalla reagenssilla, voidaan tärkkelyksen liukoisuutta parantaa ja kiteisyyttä vähentää. Tutkimuksessa HPP-käsittely vaikutti sekä seoksen viskositeettiin että elastisuuteen. Taikinan elastisuuden aiheutti esigelatinoituminen, jota tapahtui korkeammassa paineessa enemmän kuin matalassa. Korkeampi elastisuus voi aiheuttaa myös parempaa kaasun pidättymistä taikinan sisällä, jolloin myös taikinan tilavuus kasvaa. Leivonnassa tämä on haluttu ominaisuus, sillä mitä suurempi kaasun tilavuus on, sitä kuohkeampi ja parempi on taikinan rakenne. Kuvasta 9 nähdään rakenteellisten muutosten olevan silmin nähtäviä. Kauran tärkkelysjyvästen turpoaminen aiheuttaa taikinan viskositeetin kasvua. (Hüttner ym. 2009.)



Kuva 9. Kaura-vesiseoksen HPP-käsittelystä tehdyn tutkimuksen tulokset (Hüttner ym. 2009.) Ylhäällä vasemmalla käsittelemätön seos, jonka jälkeen näytteet vasemmalta oikealle: 200, 300, 350, 400 ja 500 MPa:n paineessa käsitelty.

Kaurataikinan rakenne muuttui 350 MPa:n käsittelyssä kumimaiseksi verrattuna käsittelemättömään ja 200 sekä 300 MPa:n paineilla käsiteltyihin. 400 ja 500 MPa:n käsittely aiheuttivat muutoksen melkein kiinteään muotoon. (Hüttner ym. 2009.)

### 3.4 Aromit, värit ja vitamiinit

Tuotteille, joille kuumapastörinti ei ole mahdollinen väri-, aromi- tai rakennemuutosten takia, voidaan käyttää HPP-käsittelyä ja saada aikaan säilyvyyden parantumista jopa moninkertaiseksi alkuperäiseen verrattuna. Esimerkiksi hedelmä- ja kasvituotteissa HPP säilyttää värit ja aromit hyvin. Luontaisten väriaineiden kuten klorofylli (vihreät kasvikset), annatto, karoteeni ja antosyaniinit säilyvyyttä voidaan parantaa käsittelyllä, kunhan lämpötilaa ei nosteta liian suureksi.

Korkeapaineprosessointi vaikuttaa heikommin pienimolekyylisiin aineisiin kuten vitamiineihin, sokereihin tai orgaanisiin happoihin. Paine käsittely saattaa vaikuttaa C-vitamiinin stabiilisuuteen, mutta muihin lämpöherkkiin vitamiineihin sillä ei tutkimusten mukaan ole vaikutusta (Kaitaranta 2014). Yksi HPP-tekniikan läpimurtotuotteista on ollut

avokadopohjainen guacamole–kastike. Guacamolen ongelmana oli värin tummuminen ja nopea pilaantuminen avokadon entsyymitoiminnan ja pilaajamikrobien takia. HPP-käsittelyllä pystyttiin tuhoamaan avokadon pilaajamikrobit ja myös inaktivoimaan entsyymit, jotka aiheuttivat vihreän värin muutoksen ruskehtavaksi. HPP-käsittelyn avulla guacamolelle on saatu jopa 30 päivän säilyvyysaika jääkaappilämpötilassa. (Doona & Feeherry 2007: 9, 146.)

### 3.5 Mikrobit

HPP-käsittely on tehokas tapa tuhota mikrobeja tuotteesta. Korkea paine aiheuttaa muutoksia solun rakenteeseen ja esimerkiksi proteiinien denaturoitumisen, jolloin proteiinin sisäiset heikot vuorovaikutukset katkeavat ja kolmiulotteinen rakenne hajoaa. Korkeapainekäsittely aiheuttaa tuhoa solukalvoon eli sytoplasmiseen membraaniin ja tämä puolestaan tuhoaa proteiinin toiminnallisuuden, jolloin solu menettää kykynsä toimia normaalisti ja kuolee (Schaschke 2010). Tutkimuksissa on todettu korkeapainekäsittelyissä soluissa ATP:n vuotoa, mikä aiheuttaa solulle kuoleman, kun sen energiavarastot häviävät. (Hendrickx ym. 2001; Volk 2009.)



Kuva 10. Mikro-organismien kyky kestää painetta. Vegetatiiviset bakteerit kestävät painetta heikoiten, kun taas itiöt kestävät suurtakin painetta.

Mikro-organismien kyky kestää painetta vaihtelee. Helpoimmin tuhoutuvat vegetatiiviset bakteerit. Kuvassa 10 on esitetty mikro-organismien kyky kestää painetta kasvavassa järjestyksessä. Vegetatiiviset bakteerisolut ovat kaikkein herkimpiä, kun käsittely tapahtuu kasvun eksponentiaalivaiheessa ja kestävämpiä stationäärivaiheessa. Gram-positiivisten solujen on havaittu kestävän painetta paremmin kuin gram-negatiivisten. Hiivat ja homeet ovat yleisesti melko herkkiä korkealle paineelle ja etenkin happamissa tuotteissa säilyvyys on HPP-käsittelyn ansiosta saatu hyväksi. Yleisesti 300–600 MPa:n käsittely tappaa sekä vegetatiiviset solut että hiivat ja homeet. Virukset ja etenkin bakteerien itiöt kestävät painetta parhaiten. (Doona & Feeherry 2007: 9, 146; Volk 2009.)

### 3.6 Bakteerien itiöt

Bakteerien itiöiden inaktivointi on yksi suurimmista haasteista ruuan steriloinnissa ja säilyvyyden parantamisessa. Osa itiöistä pystyy kestämaan jopa 1 500 MPa:n painetta, esimerkiksi *Clostridium botulinumia* ei ole saatu paineen avulla tuhottua. Yksi vaihtoehto itiöiden tuhoamiselle on HPP-käsittely useassa syklissä. Korkea paine ja lämpötila yhdessä sekä korkean ja matalan paineen sykliset vaihtelut 50 ja 400 MPa:n ja 60 ja 90 asteen välillä voivat edistää itiöiden inaktivoitumista. Tällekin menetelmälle resistentteja itiöitä löytyy kuten *Byssoschlamys nivea*. Paineen ja lämpötilan lisäksi aika on yksi sterilointiin vaikuttavista muuttujista.

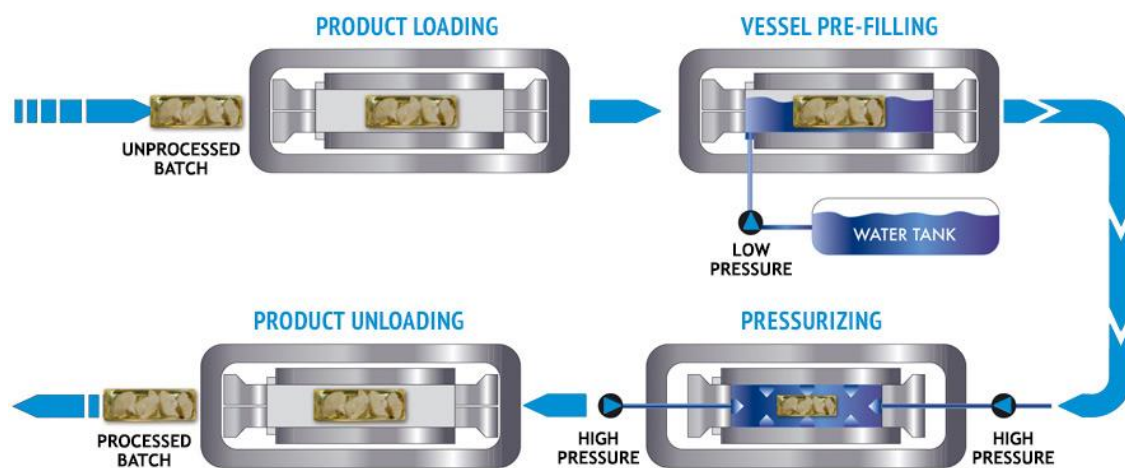
Toinen vaihtoehto itiöiden tuhoamiselle on yhdistää korkea paine ja lämpö. Paine yhdistettynä 50–70 °C:n lämpötilaan vähentää selvästi itiöiden määrää (Volk 2009). Tutkimuksissa PATS–menetelmällä (Pressure–assisted thermal sterilization) on pystytty tuhoamaan *Clostridium botulinumin* sekä muita bakteerien itiöitä. Matser ym. (2004: 79–85) osoittivat yli 700 MPa:n paineen yhdistettynä vähintään 60 °C:n lämpötilaan inaktivoivan enemmän patogeenejä kuin mikään muu menetelmä yksistään. Yli 70 °C:n lämpötila yhdistettynä korkean paineen kanssa mahdollistaa tuotteen kaupallisen steriloinnin, jolloin myös itiöt saadaan tuhottua. (Doona & Feeherry 2007: 9, 146.)

## 4 Käyttö

Korkeapaineprosessointia käytetään tällä hetkellä suurimmaksi osaksi hedelmä- ja vihannestuotteiden prosessoinnissa. Teknologia on tuonut uusia mahdollisuuksia alalle, sillä hedelmä- ja vihannesvalmisteet saadaan pastöroitua ilman ei-toivottuja vaikutuksia vitamiineihin, aromeihin tai väreihin. Muita käyttökohteita teknologialle on esimerkiksi liha- ja siipikarjajalosteet, raa'at lihatuotteet, kala- ja äyriäistuotteet sekä maito- ja kananmunatuotteet. (Kaitaranta 2014.)

### 4.1 HPP-prosessi

Tyypillinen HPP-laite koostu painetankista ja painetta tuottavasta laitteesta. Elintarvikkeet ladataan painetankkiin valmiiksi pakattuina joustavaan pakkaukseen. Säiliöön pumpataan paineväliaine, minkä takia pakkaaminen ennen prosessointia on välttämätöntä. Paineväliaineena toimii yleensä vesi, joka pumpataan tankkiin pohjalta. Nestemäisiä elintarvikkeita käsitellessä tuote voi itsessään toimia paineväliaineena, jolloin pakkaaminen on mahdollista suorittaa vasta käsittelyn jälkeen. Kun riittävä määrä painetta on saatu pumpattua säiliöön, se suljetaan. Tämän jälkeen laite ei enää tarvitse lisää energiaa, ja Kaitarannan mukaan tästä syystä korkeapainekäsittely kuluttaa vähemmän energiaa kuin kuumennus. Lopuksi tuotteet puretaan tankista, minkä jälkeen ne ovat valmiita kuluttajille. (Kuva 11.) (Kaitaranta 2014; Volk 2009.)



Kuva 11. Korkeapaineprosessointikaavio (Deli24.)

Eräässä tutkimuksessa tomaatti- ja vesimelonimehuille tehtiin elinkaarianalyysi (LCA Life cycle assessment) ja vertailtiin prosessien energiankulutusta. Tutkimuksessa mehut käsiteltiin kuumentamalla, PEF-tekniikalla (pulsed electric fields) sekä HPP-tekniikalla. Teknologioiden vertailu suoritettiin toisiaan vastaavilla mikrobien inaktivointitasoilla, jossa huomioitiin sama tuotantokapasiteetti pilottitasolla kuin teollisuuslaitteita käyttäen. Tutkimukseen tarvittavat tiedot, esimerkiksi valitut käsittelyolosuhteet, energiankulutus, veden käyttö, puhdistusaineet ja ylläpito koottiin kokeellisesti. Elinkaarianalyysi jaettiin kahteen päävaiheeseen: (1) ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin ainoastaan mehuntuotannon jalostusvaihetta ja (2) toisessa vaiheessa otettiin huomioon myös maatalouden tuotantovaihe ja jätehuolto mehujen valmistuksen ja jalostuksen aikana. Käsittelyolosuhteet valittiin tuotteiden säilyvyyden perusteella niin, että käsittelyolosuhteilla aikaansaatiin samankaltainen säilyvyysaika tuotteelle. Tulokseksi saatiin, että kuumennus kuluttaa 0,04 kWh/l, PEF-käsittely 0,12 kWh/l ja HPP 0,20 kWh/l. Lämpökäsittely tehtiin 74 °C lämpötilassa 30 sekunnin ajan, PEF-käsittelyn arvot olivat 30 °C ja 9,8 kV/cm, 188 kJ/kg ja HPP-käsittelyssä 600 MPa ja 5 min. HPP-käsittelyyn vaadittiin pidempi käsittelyaika ja tämän vuoksi energiaa kului enemmän kuin lämpökäsittelyllä. (Aganovic ym. 2017: 514–525.)

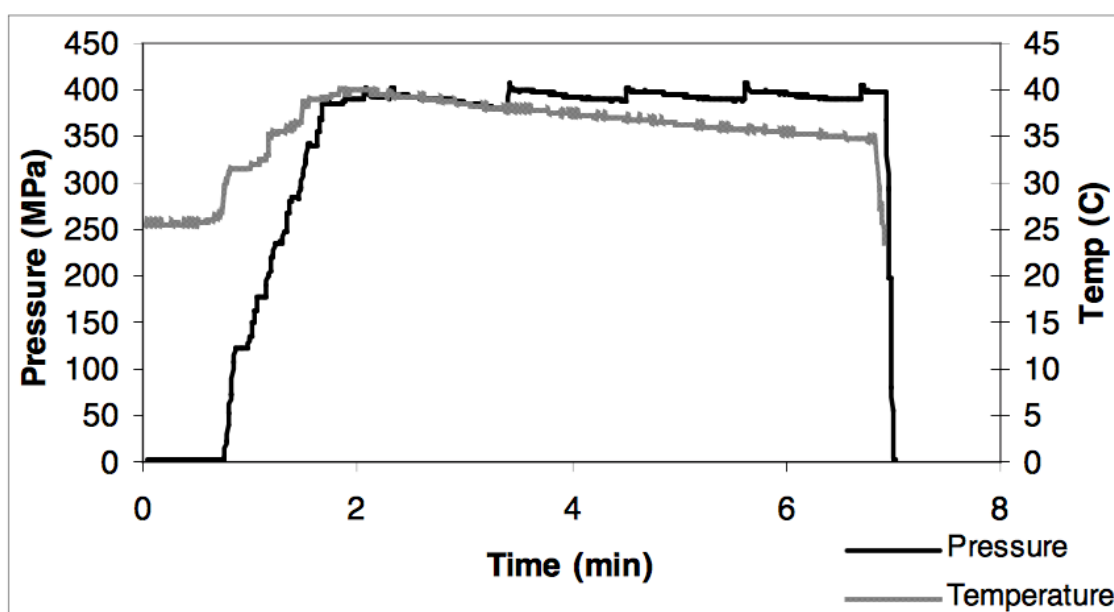
Kaitarannan väittämä HPP-tekniikan pienemmästä energiankulutuksesta lämmitykseen verrattuna ei siis täysin pidä paikkaansa. Tekniikoita ei kuitenkaan voi täysin verrata toisiinsa, sillä niillä on muitakin vaikutuksia tuotteeseen kuin vain pelkästään säilyvyysaika. Rakennetason muutoksia verrattaessa tulokset voivat olla toisenlaiset. Toisenlaisilla tuotteilla, joihin HPP-käsittely ja lämpökäsittely vaikuttavat eri tavalla, voivat tulokset energiankulutuksesta olla erilaiset.

HPP-käsittelyn aikana korkea paine synnyttää lämpöä tankkiin. Tätä lämpöeristetyssä systeemissä muodostuvaa lämpöä kutsutaan adiabaattiseksi lämpenemiseksi. Paine jakautuu prosessissa isostaattisen periaatteen ja Pascalin lain mukaan tasaisesti. Sen vuoksi käsiteltävä tuote myös lämpenee homogeenisesti, mikä on etu esimerkiksi lämpökäsittelyyn verrattuna, jossa lämpö vaikuttaa ensin tuotteen pintaan. Adiabaattisen lämmön suuruus riippuu paineen määrästä, elintarvikkeen koostumuksesta, paineväliaineen koostumuksesta sekä alkulämpötilasta, myös paineen noston nopeus vaikuttaa lämpötilaan. Karkeasti arvioiden 100 MPa:n paine nostaa puristusnopeudesta riippuen lämpötilaa noin 3–9 °C:n verran. Paineen jakautuminen tasaisesti vaikuttaa myös prosessoinnin pituuteen; prosessointiajat ovat lyhyitä, sillä aika ei ole riippuvainen tuotteen koosta tai muodosta. Paineen tasaisen jakauman ansiosta myöskään



makroskooppinen rakenne ei muutu. (Volk 2009: 18–19; Kaitaranta 2014; Doona & Feeherry 2007: 9, 146.)

Kuvassa 12 esitellään tyypillinen lämpötilan ja paineen kuvaaja 400 MPa:n paineella käsiteltäessä. Alussa tuote on huoneenlämpöinen ja paineen vaikutuksesta lämpötila nousee noin 4 °C/100 MPa, jolloin maksimilämpötila prosessin aikana on noin 40 °C. Paine nousee tankissa tasaisesti ja tänä aikana tapahtuu adiabaattinen lämpeneminen. Prosessin aikana lämpöä menetetään esimerkiksi johtumalla tankin seinämän läpi. Lämpötiagradientin lasku riippuu viipymäajasta eli käsittelyajasta. Kun käsittelyaika täyttyy, paine vapautetaan tankista nopeasti ja tällöin myös lämpötila laskee alkulämpötilan tasolle. (Volk 2009: 19–20.)



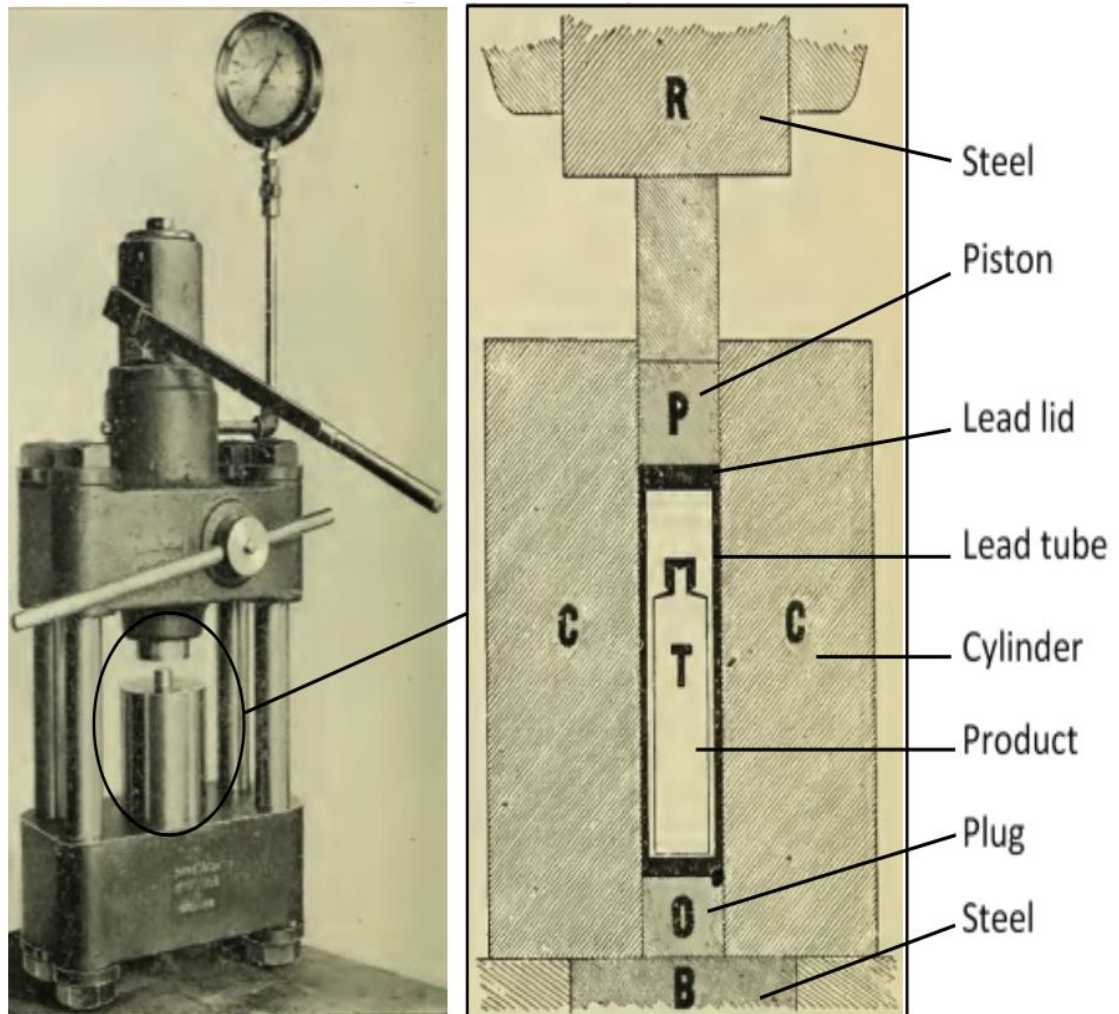
Kuva 12. Tyypillinen lämpötilan ja paineen kuvaaja 400 MPa:n paineella käsiteltäessä (Volk, 2009).

HPP-laitteet ovat tällä hetkellä kaikki panostuotantoon tarkoitettuja. Korkeapaineprosessointi on vaikea saada yhdistettyä jatkuvatoimiseen tuotantoon, jolloin panostuotanto on ainoa mahdollisuus. Tankkien koot vaihtelevat yleisesti noin 35–350 litran välillä. Nestemäisiä tuotteita käsitellessä tuote voi toimia paineväliaineena, jolloin käsittely jälkeen tuote pumpataan pakkauksiin aseptista linjaa pitkin. (Kaitaranta 2014; Doona & Feeherry 2007: 9, 146.)

## 4.2 Historia

Korkeapaineprosessoinnin juuret yltävät 1800-luvulle. Yksi ensimmäisistä kokeiluista oli maidon korkeapaineprosessointi vuonna 1899, kun B. H. Hite havaitsi, että maidon säilyvyys piteni 4 päivää, kun se käsiteltiin 600 MPa:n paineessa yhden tunnin ajan huoneen lämpötilassa. Muutama vuosi tämän jälkeen Hite tutki myös persikan ja päärynän säilyvyyttä käsittelyn jälkeen ja huomasi säilyvyysajan pidentyvän. (Hite 1899.)

Hiten (1899) tutkimuksissa käytetyn laitteen valmistaja oli Pennsylvaniassa sijainnut *National Transit Company*. Laite sisälsi tinasta valmistetun putkilon, johon tuote pakattiin, sekä lyijystä valmistetun säiliön, jonne putkilo asetettiin. Maito pakattiin tinaputkeen, joka suljettiin tiukasti ja laitettiin lyijystä valmistetun rungon sisälle. Säiliö täytettiin vedellä ja suljettiin kannella, minkä jälkeen säiliö asetettiin terässylinteriin kahden teräsharkon väliin ja paineistettiin teräksisen männän ja vipuvoiman avulla (kuva 13). (Elamin ym. 2015: 75–76.)



Kuva 13. Ensimmäinen HPP-laite vuodelta 1899 (Elamin, ym. 2015: 75–76).

Korkeapaineprosessoinnin hyödyt mikrobien inaktivoinnissa huomattiin siis jo vuonna 1899, mutta teknologian kehittyminen kaupalliseen käyttöön vei miltei 100 vuotta (Elamin ym. 2015: 75–76). Markkinoille ensimmäiset korkeapaineprosessoidut elintarvikkeet tulivat Japanissa 90-luvun alussa, kun *Mitsubishi Heavy Industries Ltd* valmisti ensimmäiset HPP-laitteet elintarvikkeiden kaupalliseen tuotantoon. Tuolloin ensimmäinen markkinoille tullut tuote oli hedelmähillo. Euroopassa ensimmäinen tuote (ranskalainen hedelmämehu) tuotiin kauppoihin vuonna 1996, mutta vasta tällä vuosituhanella HPP:n käyttö on yleistynyt. Kuvassa 14 on listaus ensimmäisistä tuotteista ja niiden lanseerausvuosista, sekä kuvia tuotteista. Suomessa teknologian on ottanut ensimmäisenä käyttöön Laitilassa toimiva Munax Oy, joka on vielä tällä hetkellä Suomen ainoa HPP-laitteen omistava yritys. HPP-tuotannosta arviolta 58 % tulee Pohjois-Amerikan alueelta, 24 % Euroopasta ja 13 % Aasiasta. Vuonna 2013 korkeapaineprosessoinnilla tuotettujen tuotteiden määrän arvioidaan olevan yli 400





Kuva 15. Hiperbaric 55 -laite (Hiperbaric).

Hiperbaricin ilmoittama keskimääräinen hinta prosessoinnille on noin 0,16 €/kg. Arviolaskelmat sisältävät energian, arvonlaskun sekä laitteen huollot. Esimerkiksi Hiperbaric 55 -laite maksaa noin 540 000 €, hinta sisältää asennuksen, käyttöönoton ja laitteen käytön opetuksen. Laite tarvitsee internetyhteyden, ja se kuluttaa öljyä, paineilmaa sekä vettä. (Ollauri ym. 2016.)

#### 4.3.2 Multivac tuoteperhe

Multivac valmistaa korkeapaineprosessointiin Multivac HPP -tuoteperheen laitteita, jotka sopivat sekä tyhjiöpakkauksille että suojakaasupakkauksille. Yleisesti HPP-laitteet on tarkoitettu tyhjiöpakkauksille, joten tämä lisää monia mahdollisuuksia teknologian käyttöön. Multivac HPP -laitteiden kammiotilavuus on 55–350 litraa. (Multivac.)

Esimerkiksi 160 l laitteessa enimmäispaine on 6 000 bar ja käsiteltävä tilavuus on alle 1 000 l/h. Syklin kesto on 7,3–8,3 minuuttia. Laite on kooltaan 7 m x 6 m ja painaa noin 45 000 kg. (Multivac.)

#### 4.4 Pakkaaminen

Korkeapaineprosessoitavien tuotteiden vesipitoisuuden tulee olla suuri ja ne tulee pakata tiiviiseen, ilmattomaan pakkaukseen (The National Food Lab, 2013). Pakkaaminen tapahtuu ennen prosessointia, mikäli kyseessä on kiinteä tuote, kun taas nestemäiset tuotteet voidaan pakata myös prosessoinnin jälkeen. Pienimmät kosteuspitoisuudet käsitellyissä näytteissä ovat olleet noin 30 %, mikäli neste on jakautunut tuotteeseen tasaisesti. Yleisesti käsiteltävät tuotteet ovat kosteuspitoisuudeltaan yli 50 %. Jos tuotteen kosteuspitoisuus on liian pieni, paine ei jakaudu tasaisesti. Tämän vuoksi syntyy paine-eroja, jotka vaikuttavat tuotteeseen eri tavalla kuin tasainen paine. Esimerkiksi jos viinirypälettä puristetaan kasaan tasaisella, joka puolelta yhtä suurella paineella, viinirypäle puristuu kokoon. Jos taas samaa rypälettä puristetaan eri puolilta erilaisella paineella, rypäle halkeaa. Tämän takia pakkauksen tulee olla joustava ja ilmaton, ettei paine-eroja pääse syntymään ja paketti kestää paineen vaihtelun. (Kaitaranta 2014.) Multivac on kuitenkin kehittänyt HPP-laitteen, jossa voidaan käsitellä myös suojakaasua tai ilmaa sisältäviä pakkauksia (Multivac).

#### 4.5 Haasteet

Korkeapainetekniikka on suhteellisen nuori tekniikan ala, josta ei vielä ole tehty laajasti tutkimuksia toisin kuin lämpötilan aiheuttamista vaikutuksista. Lämpöä ja kuumennusta on käytetty elintarvikkeiden valmistuksessa niin kauan kuin tulta on osattu tehdä, joten myös tutkimustietoa löytyy paljon enemmän. Monet ruoanvalmistusprosessit perustuvat lämmitykseen; se on ollut kautta aikojen helppo tapa tuhota mikrobeja ja aikaansaada turvallista ruokaa.

Korkeapaineprosessoinnin soveltamista kauratuotteille rajoittaa se, että tuotteiden vesipitoisuuden tulee olla suuri, jolloin käsittely ei sovi ollenkaan liian kuiville tuotteille, kuten valmiille leipomotuotteille, leivälle tai leivonnaisille. Tämä karsii suuren määrän tuotteita pois.

Laitteet ovat kalliita ja kun rakenteellisia muutoksia ei osata täysin ennustaa, niin ei kallista investointia uskalleta tehdä umpimähkään. Kun laitteita on vielä suhteellisen vähän, kokeiden tekeminen vaatii aikaa ja resursseja, jolloin tulee helposti päädyttyä valmiiksi tutkittuun ja hyväksi havaittuun tekniikkaan. Uuden tekniikan käyttöönotto on myös riski, sillä tulokset eivät aina ole hyvistä alkuvalmisteluista huolimatta halutunlaisia.

#### 4.6 Hyödyt

Tämän hetken tutkimustiedon perusteella korkeapaineprosessoinnin suurin hyöty on säilyvyyden parantamisessa. Tekniikan avulla pystytään vähentämään lisäaineiden käyttöä säilyvyyden parantamisessa ja näin ollen aikaansaamaan luonnonmukaisempia tuotteita. HPP tappaa mikrobeja, jolloin säilyvyysaikaa saadaan pidennettyä, eikä käsittely ei myöskään vaikuta makuihin, aromeihin tai väreihin suuresti. Korkeapaineprosessoinnilla voidaan aikaansaada erilaisia muutoksia kuin muilla prosessointimenetelmillä ja tällä tavoin voidaan saada uudenlaisia tuotteita markkinoille. HPP-laitteiden käyttö on helppoa, eikä käytön jälkeisiin pesuihin mene turhaa aikaa. Käsittely tehdään valmiiksi pakatuille elintarvikkeille paineistetussa vesialtaassa, jolloin jälkikontaminaatiomahdollisuutta ei ole. Laatumuutokset ovat riippuvaisia enemmän varastoinnista ja jakelusta, esimerkiksi säilytys- ja kuljetuslämpötilasta kuin itse prosessista. Tämä mahdollistaa erilaisten tuotteiden käsittelyn peräkkäin ilman välipesuja.

Hüttner ym. 2009 osoitti tutkimuksessaan, että korkeapainetekniikalla voidaan aikaansaada kaurataikinalle paremmat leivontaominaisuudet kuten suurempi kaasun pidättyvyys ja taikinan laajeneminen. Kuitenkaan paineen ja ajan lisääminen eivät olleet tutkimuksessa verrannollisia leivottavuuden paranemisen kanssa, sillä suurimmissa paineissa tärkkelyksen viskoottisuus nousi niin suureksi, että se alkoi huonontaa leivontaominaisuuksia. Kuitenkin valitsemalla oikeat parametrit ominaisuudet paranivat käsittelemättömään näytteeseen verrattuna. Käsittelyllä voitaisiin siis esimerkiksi saada valmistettua erilaisia gluteenittomia kaurapohjaisia leipiä tai leivonnaisia, jotka ovat rakenteeltaan kuohkeampia kuin markkinoilla olevat.

Käsittelyllä pystytään myös valmistamaan erilaisia kypsentämättömiä nestemäisiä esimerkiksi kauraproteiinivalmisteita, joiden proteiinit eivät ole koaguloituneet, mutta haitalliset mikrobit on saatu tuhottua. Myös elastisiin ja viskoottisiin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa ja saada aikaan erilaisia rakenteita kaurapohjaisille tuotteille.

### 5 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin mahdollisia käyttökohteita kauratuotteiden prosessointiin korkeapainetekniikalla. Työ tehtiin yritykselle Gold & Green Foods Ltd olemassa olevan tutkimustiedon pohjalta. Kirjallisuusselvityksen perusteella näytti siltä, että hyödyt kauravalmisteen käsittelylle HPP-tekniikalla jäisivät liian pieniksi kokeellisen osuuden

tekemistä varten ja siksi se päätettiin siirtää myöhempään ajankohtaan, mikäli sopivia käyttökohteita ilmenee.

Kauratuotteiden käsittelystä korkeapainetekniikalla on tehty tutkimuksia suhteellisen vähän ja se aiheutti haasteita kirjallisuusselvityksen tekemiselle. Muuttamalla painetta ja prosessointiaikoja saadaan aikaan erilaisia muutoksia tuotteissa. Tässä aiheessa riittää tutkittavaa myös tulevaisuudessa, sillä tutkimalla eri paineissa tapahtuvia muutoksia saattaa löytyä uudenlaisia hyötyjä tuotteiden käsittelylle. Korkeapaineprosessointia voi verrata lämmittämiseen, jossa lämpötilan ja ajan muuttamisella on suuri vaikutus valmistuneeseen tuotteeseen.

Tämän hetken tutkimustiedon perusteella korkeapaineprosessointia käytetään eniten mikrobien tuhoamiseen tuotteissa, joissa prosessoinnin aikana ei toivota tapahtuvan rakenteellisia muutoksia, vaan halutaan saada pilaajamikrobit tai muutoksia aiheuttavat entsyymit tuhottua. Muita mahdollisia käyttökohteita ovat proteiinien tai tärkkelyksen rakenteelliset muutokset, joilla pystytään vaikuttamaan esimerkiksi tuotteen suutuntumaan, rakenteeseen, makuun tai ulkonäköön. Proteiinien ja tärkkelyksen rakenteellisista muutoksista on paljon tietoa muilla tunnetuilla prosessointimenetelmillä käsiteltäessä, esimerkiksi kuumennuksen, pakastuksen tai kuivauksen vaikutukset tunnetaan hyvin, ja näin ollen näiden prosessointimenetelmien valinta on helpompaa mikäli haluttu muutos on tiedossa.



## Lähteet

Aganovic, Kemal; Smetana, Sergiy; Grauwet, Tara; Toepfl, Stefan; Mathys, Alexander; Van Loey, Ann & Heinz, Volker, 10.01.2017. Pilot scale thermal and alternative pasteurization of tomato and watermelon juice: An energy comparison and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, s. 514–525.

Autio, Karin, 2006. Functional Aspects of Cereal Cell-Wall Polysaccharides. *Carbohydrates in Food*. 2, s 168–208.

BeMiller, James & Whistler, Roy, 2009. Chemistry and Technology. A volume in Food Science and Technology. Starch, Third Edition, s. 589–599.

Deli 24, HPP Process. <http://www.deli24.co.uk/HPP/>. Luettu 1.3.2017

Doona, Christopher & Feeherry, Florence 2007. High Pressure Processing of Foods, First edition. Blackwell Publishing Professional, s. 9, 146.

Elamin, Wael; Endan, Johari; Yosuf, Yus; Shamsudin, Rosnah & Ahmedov, Anvarjon, 11.10.2015. High Pressure processing technology and Equipments. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, s.75–76.

EU, Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20.12.2006 on nutrition and health claims made on foods, Official Journal of European Union L 404 (2006) 9-25.

EU, Commission Regulation (EU) No 1160/2011 of 14.11.2011. On the authorisation and refusal of authorisation of certain health claims made on foods and referring to the reduction of disease risk Text with EEA relevance, Official Journal of European Union L 296 (2011) 26-28.

EU, Commission Regulation (EU) No 432/2012, 16.5.2012. Establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health Text with EEA relevance, Official Journal of European Union L 136 (2012) 1-40.

Grosch, W. & Wieser H. 1999. Redox reactions in wheat dough as affected by ascorbic acid. *Journal of Cereal Science*, Volume 29, Issue 1, s. 1-16.

Grundy, Myriam; Quint, Janina; Rieder, Anne; Ballance, Simon; Dreiss, Cécile; Cross, Kathryn; Gray, Robert; Bajka, Balazs; Butterworth, Peter; Ellis, Peter & Wilde, Peter. 2017. The impact of oat structure and b-glucan on in vitro lipid digestion. *Journal of Functional Foods* 38, s. 378–388.

Happonen, Päivi; Holopainen, Mervi; Sariola, Hannu; Sotkas, Panu; Tenhunen, Antero; Tihtarinen-Ulmanen, Marja & Venäläinen, Juha. 2006. BIOS 5, Bioteknologia. WSOY Oppimateriaalit Oy, s. 34.

Happonen, Päivi; Holopainen, Mervi; Sotkas, Panu; Tenhunen, Antero; Tihtarinen-Ulmanen, Marja & Venäläinen Juha. 2012. BIOS 2, Solu ja perinnöllisyys. WSOY Oppimateriaalit Oy.

Hendrickx, Marc; Knorr, Dietrich; Ludikhuyze, Linda; Van Loey, Ann; Heinz, Volker. 2001. *Ultra High Pressure Treatments of Foods*, Springer Science and Business Media New York, s.3–7.

Hite, Bert Holmes. 1899. The effect of pressure in the preservation of milk. West Virginia University, Agricultural Experiment Station 58, s. 15-35.

Hiperbaric. <http://www.hiperbaric.com/en/high-pressure>, viitattu 03.12.2016.

Hüttner, Edith; Dal Bello, Fabio; Poutanen, Kaisa; Arendt, Elke. 2009. Fundamental evaluation of the impact of high Hydrostatic Pressure on oat batters. *Journal of Cereal Science*, s. 363–370.

Johansson, Rosita. 2017. Tuotekehitysjohtaja. Laitilan Kanatarha, Munax Oy. Haastattelu 21.11.2016.

Kaitaranta, Jukka. 2014. Korkeapaineprosessointi on lyönyt läpi elintarviketuotannossa. *Kehittyvä elintarvike* 4/2014, s. 24.

Kaitaranta, Jukka. 2016. Toimitusjohtaja. JKK Partners Oy Ltd. Haastattelu 2.12.2016.

Kaiwai, Kiyoshi; Fukami, Ken & Yamamoto, Kazutaka. 04.01.2012. Effect of temperature on gelatinization and retrogradation in high hydrostatic pressure treatment of potato starch-water mixtures. *Carbohydrate Polymers*, Volyme 87, Issue 1, s. 314–321.

Kivelä, Reetta. 2011. Non-enzymatic degradation of (1→3)(1→4)-β-d-glucan in aqueous processing of oats. Väitöskirja. Helsingin Yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. E-thesis-tietokanta.

Matser, A.M.; Krebbers, B.; Van Den Berg R. W. & Bartles. 2004. Advantages of high pressure sterilization on quality of food products. Trends Food Sci Technol 2, s. 79-85.

McMurry, John E. 2008. Organic Chemistry. Eight Edition. Thomson Learning, s. 79-85.

Mezger, Thomas. 2011. The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers. 3<sup>rd</sup> edition. Vincentz Network.

Multivac. <<http://fi.multivac.com/fi/ratkaisut/tuotteet/categories/product/hpp-elintarvikkeiden-korkeapaine-kaesittely/hpp-laitteistot/hpp-350/>>, viitattu 14.11.2016

Mäkinen, Outi; Sozer, Nesli; Ercili-Cura, Dilek & Poutanen, Kaisa, 2016. Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition. Elsevier, Sustainable Protein Sources, 1<sup>st</sup> edition, s.105-119.

The National Food Lab. 10.7.2013. High pressure processing: Insights on technology and regulatory requirements. The NFL White Paper Series, Volume 10.

Ollauri, Lorena Uzquiza. 2016. Applications and Technical Sales. Hiperbaric. Haastattelu 16.11.2016.

Salovaara, Hannu. 2012. Ravintomme hiilihydraatit Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteen laitos. Viikki Food Science. Verkkojulkaisu. <<http://www.ets.fi/file-uploads/HannuSalovaara.pdf>>. 7.3.2012. Luettu 15.1.2017.

Schaschke, Carl. 2010. Developments in high-pressure food processing. Nova Science Publishers.

Schutyser, M. A. I & Goot, A.J. van der. 2011. The potential of dry fractionation processes for sustainable plant protein production. Trends in Food Science & Technology 22, s. 154–164.

Simsek, Senay; Whitney, Kristin & Ohm, Jae-Bom. 2013. Analysis of cereal starches by high performance size exclusion chromatography. Food Analytical Methods, 6, s. 181–190.

Tiala, Janette. 2011. Differentiaallinen pyyhkäisykalorimetri. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Volk, Stephanie Paige. 2009. Impact of high-pressure processing on soy and egg proteins. Graduate Thesis and Dissertations. Iowa State university.

Whalen, Paul. 2014. Oat Tech Incorporated. Oat protein and fiber product. USA EP 2804491 A2.

Youngs, VL; Peterson, DM & Brown, CM. 1982. Oats. Teoksessa: Pomeranz Y. Advances in Cereal Science and Technology. 5. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minnesota, s 49-107.

Zhou, Meixue; Robards, Kevin; Glennie-Holmes, Malcolm; and Helliwell, Stuart. 1999. Oat lipids. JAOCS Vol 76 no.2.

Zhu, F. 2016. Structures, properties, modifications, and uses of oat starch. School of Chemical Sciences, University of Auckland, New Zealand.

Zhou, Meixue; Robards, Kevin; Glennie-Holmes, Malcolm; and Helliwell, Stuart. 1998. Structure and Pasting Properties of Oat Starch. Cereal Chemistry 75(3), s. 273–281.